

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ТОО «МЕЖДУНАРОДНАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ КОРПОРАЦИЯ»

СТУДЕНТ И НАУКА: ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ

**Сборник материалов
XXVI ежегодной республиканской студенческой научной конференции**

ЧАСТЬ II

Алматы, 2026

УДК 001
ББК 72
С88

Редакционный комитет

Сабденалиев Б.А., ректор МОК – председатель,
Молдамуратов Ж.Н., проректор по НИ – заместитель председателя,
Лайсханов Ш.У., директор департамента науки и инноваций,
Макытбекқызы А., координатор ДНИ,
Мұқашева М.М., ассистент-профессор ША,
Томина И.В., ассистент-профессор ШД,
Шайзаданова Г.С., ассоциированный профессор ШД,
Қалтай Н.Н., ассистент-профессор ШД,
Ашимова А.М., тьютор ШД,
Касымова Г.Т., ассоциированный профессор ШС,
Сәбитова А.С., ассистент-профессор ШИ,
Бердалиева Ж.Ж., ассистент-профессор ШИ,
Жараспаева Г.Ж., ассоциированный профессор ШИ,
Даулбаев А.К., ассоциированный профессор ШИ,
Курманбекова Э.Б., ассоциированный профессор ШИ.

С 88 **Студент и наука: взгляд в будущее:** Сб. мат. XXVI ежегодн. респ. научн. студ. конф. – Алматы: ТОО «МОК», 2026.

ISBN 978-601-08-6141-1 (ч. 2)
Ч. II. – 301 с.
ISBN 978-601-08-6141-1 (общ.)

В сборнике представлены результаты научно-исследовательской деятельности преподавателей и студентов МОК, Satbayev University, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева и других вузов.

Статьи, представленные в сборнике, рассмотрены на XXVI ежегодной республиканской научной студенческой конференции «Студент и наука: взгляд в будущее». Организатор конференции – департамент науки и инноваций под руководством Ш. Лайсханова.

В сборнике освещены актуальные тенденции в области энергоэффективного строительства, инженерных систем и сетей, геотехники, механизации строительного производства, а также производства строительных материалов, изделий и конструкций.

Материалы сборника представляют интерес для преподавателей, студентов, магистрантов и специалистов технических вузов.

УДК 001
ББК 72

Печатается по плану издания ТОО «Международная образовательная корпорация»
на 2025–2026 уч. год.

ISBN 978-601-08-6141-1 (общ.)
ISBN 978-601-08-6141-1 (ч. 2)

© ТОО «Международная образовательная
корпорация», 2026

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ III. СТРОИТЕЛЬСТВО

3.1 СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА

Есетов Ш.Р., Келемешев А.Д. Композитные материалы в строительстве	7
Исмаилова А.С., Салпакаева Р.К. BIM и численное моделирование устойчивости строительных конструкций: интеграция методов и практическое применение	11
Калым Н.М., Аубакирова Б.М. Визуализация инженерных систем как инструмент повышения качества монтажных работ: анализ проблем и перспектив...	15
Махметов А.А., Ниетбай С.Е. Исследование надежности современных вентилируемых фасадов для зданий гражданского назначения	20
Мукаев Р.А., Келемешев А.Д. Обследование зданий и сооружений с использованием дронов (БПЛА)	26
Муратбаева М., Молдагананова А.Г. Ақылды (SMART) құрылыс материалдары және сенсорлық жүйелер	29
Нұрмуханова А.М., Елеусинова А.Е. Жүктеменің эксцентриситетінің темірбетон ұстындардың көтергіштік қабілетіне әсері: ҚР ҚНЖЕ және ҚР Еурокод 2 бойынша салыстырмалы талдау	34
Серікбол Е., Құмар Б.К. Бірқабатты кеңістікті ағаш конструкциялы ғимараттардың экологиялық, энергетикалық және сейсмикалық тиімділігі	38
Тлеугалиева С.И., Абибулла Қ.А., Ниетбай С.Е., Джумадилова С.Ж. Сравнительная оценка прочностных характеристик грунтоцементных композитов золы ТЭЦ	41
Төлепберген Х.А., Муратова А.Т., Турашев А.С. Жеңіл рельсті көлік ашық платформаларын қар жүктемесінен қорғау: заманауи және перспективалы әдістер	46
Шакирова А., Слямбаева А. Ғимарат қасбеттеріне арналған гибриді аэродинамикалық күн панельдері: қалалық вертикальді энергия фермасының инновациялық моделі	50
Шойынбай А.С., Елеусинова А.Е. ҚР Еурокодтар мен ҚР ҚНЖЕ нормалары талаптарының салыстырмалы талдауы негізінде темірбетон плиталарының түрін таңдауды оңтайландырудың ғылыми негіздемесі	54
Шолпанкулова М., Әлімбай А., Мурзалина Г.Б. Азаматтық ғимараттардың аспалы қасбеттік жүйелерінің сапасын энергетикалық тиімділік параметрлері бойынша бағалау	58

3.2 ТЕХНОЛОГИЯ И МЕХАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Nurkenova Z.B., Seitkazinov O.D. Construction of buildings and structures using the method of winter concreting.....	60
--	----

Иванов И.А., Гейдаров Н.С., Баратова Т.С., Бондарь И.С. Технологии строительства автомобильных дорог с применением современной дорожно-строительной техники	64
Кадыр А.С., Баратова Т.С., Бондарь И.С. Моделирование благоустройства городской территории на примере улиц города Алматы	69
Кошемисов И.К., Кенебаева А.К. Интеллектуальный фундамент AXON: единая цифровая среда автономного управления строительным производством.....	75
Кошемисов И.К., Құсайын А.Т., Кенебаева А.К. Жасанды интеллект және құрылыс саласындағы рөлі	80
Маратов А.М., Сейтказинов О.Д. Көміртекті талшықпен конструкцияларды күшейту, темірбетон конструкцияларын композиттік материалдармен күшейтуге арналған материалдар	85
Саятхан Е., Айдосұлы И., Мурзалина Г.Б. «Жасыл» құрылыс технологиялары саласындағы нормативтік база мен ғылыми зерттеулерді талдау	89
Шыналы Е., Смагулов М., Мурзалина Г.Б. Инвестициялық-құрылыс қызметін басқарудағы аналитикалық-әдістемелік тәсілдер мен бизнес-процестер модельдері.....	92

3.3 СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА И НАДЕЖНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ

Aldisheva D.N., Muzdybayeva T.K. Calculation and design of a field splice for a large-span steel main beam using high-strength bolts	95
Amandykova G.G., Muzdybayeva T.K. Design of a steel column under compression according to Eurocode	99
Ahmadi Krishna, Dostanova S.Kh. Digitalization and Artificial Intelligence in construction mechanics	103
Абзал Н.А., Достанова С.Х. Модели совместной работы плиты перекрытия и элементов каркаса	108
Бейбіт Б.Б., Тулегенова О.Е. 3D-принтер технологиясының құрылыс бұйымдарының механикалық сипаттамаларына әсерін зерттеу	112
Бурамбаев А.А., Достанова С.Х. Анализ деформаций пологих оболочек с учетом геометрической нелинейности при различных граничных условиях	115
Евитченко Я.А., Серяковский Д.Д., Исмаилова М.Н. Сейсмическое демпфирование объектов атомной энергетики Казахстана	120
Жаксыбек Е.Е., Слямбаева А.К. Механикаландырудағы BIM технологиялары: ғимараттың цифрлық егізі жабдықтың қорын дәл есептеуге және тоқтап қалуды болдырмауға қалай көмектеседі	124
Жумакарим А.К., Любченко М.В. Обзор подходов к проектированию сейсмологически безопасных зданий в Казахстане и Японии	127
Жунусова А.Р., Достанова С.Х. Влияние жесткости грунтового основания на динамические характеристики и напряженно-деформированное состояние каркасных зданий при сейсмических воздействиях	131
Кайредден К.А., Достанова С.Х. Математическая модель динамики упругой системы с разрывными параметрами	135
Муратов А.Т., Достанова С.Х. Сейсмический анализ зданий с деформируемыми опорными связями	140

Мустафин А.Д., Касымова Г.Т. Аналитико-численное исследование перемещений балки с учётом температурных воздействий.....	144
Наиль Д., Серіков Д., Джамалов Ж., Көбелдес Н., Карибов О., Ташкеева Г.К. Сейсмостойкое проектирование и инженерно-геологическое обоснование трансграничного туннеля Алматы – Иссык-Куль	149
Нұран С.М., Сансызбаев К.К. Құрылымдардың элементтеріндегі кернеу концентрациясы және оның беріктікке әсері.....	153

3.4 ГЕОТЕХНИКА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Adilova T.D., Shorabek N.B., Niyetbay S.E., Jumadilova S.Zh. Experimental and numerical study of soil cement with JUSTSOLID® polymer additive	158
Алпысбаев Т., Дюсенгалиева Т.М. Жол құрылымдарының ылғалдануын болдырмау үшін дренаждық жүйелерді орнату технологиясы	161
Джамалиева А.Р., Асхатұлы М. Будущее сейсмоизоляций: синергия волновых барьеров и цифровых двойников	164
Джамалов Ж.Ж., Кенебаева А.К. Инновационные технологии укрепления грунтов оснований и насыпей автомобильных дорог	169
Жолдигулов Ж.Ж., Дюсенгалиева Т.М. Жертөсемесінің беткейлерін нығайту кезінде геосентетикалық қолдану тиімділігін бағалау.....	175
Ильяс О., Боранбаев Е.С., Дакибай Д.Н., Қожамберді Н.Р., Сағыбекова А.О. Современные технологии стабилизации грунтов	180

3.5 ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЯ

Айтбаева Е.К., Алдабергенова Г.Б. Турбодетандерные технологии производства СПГ: использование перепада давления на ГРС для обеспечения автономной газификации	184
Асан Н.Б., Алдабергенова Г.Б. Современные газовые и жидкотопливные котлы: технологическая эффективность и интеллектуальные системы автоматизации	188
Дайрабаева А.С., Абиева Г.С. Биік ғимараттарды жылыту жүйелерінің энергетикалық тиімділігін арттыру тәсілі	192
Дастан А.М., Утепбергенова Л.М. Суық климат жағдайында тұрғын үйлерге арналған жылыту жүйелерінің энергия тиімді инженерлік шешімдерінің салыстырмалы талдауы	197
Мадиярбек Д.М., Ноғайбекова М.Т., Серік Ғ. Париж қаласындағы Жорж Помпиду өнер орталығының желдету және жылу жүйелерінің инновациялық шешімдері.....	200
Оразғалиева А.С., Алдабергенова Г.Б. Перспективы интеграции технологий в системы централизованного теплоснабжения с целью снижения углеродного следа.....	204
Сағындықова Ә.Б., Ноғайбекова М.Т. Тараз қаласының сыртқы жылу желілерінің техникалық жағдайы, мәселелері мен жаңғырту жолдары	209
Саулебек Б.С., Алдабергенова Г.Б. Жылыту жүйелеріндегі процестерді автоматтандыру және цифрландыру	212

Фазылова Х., Фазылов К.Р. MagiCAD бағдарламалық құралдар пакетін «Құрылыс» мамандығы бойынша курстық және дипломдық жобаларда пайдалану тәжірибесі.....	216
Фазылова Х., Қонарбаева Ж.Б. Болашақ инженерлерді даярлауда Audytor. OZC бағдарламасы негізінде заманауи ақпараттық технологияларды қолдану.....	220

3.6 ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

Ахмет З.А., Касабекова Г.Т. Система водоотлива метрополитена и принципы её работы	224
Балабек Д., Касабекова Г.Т. Технологии водного рециклинга в условиях устойчивого развития городов.....	228
Балгабаев А.Е., Молдабаева Г.Н. Қазақстандағы қалалық сумен жабдықтау жүйесіндегі су шығынының себептерін талдау.....	232
Батырбекова Н.Б., Джартаева Д.К. Современные технологии рационального использования сточных вод	235
Болат Н.М., Жангужинов А.Е. Табиғи суды тазартуда нанотехнологияны қолдану	241
Ғайнуллаұлы Р., Касабекова Г.Т. Әскери бөлімдерді дала жағдайында тұрақты сумен қамтамасыз ету жүйелерін ұйымдастыру	247
Есильбаева Ж., Ногайбекова М.Т. Париж қаласындағы Лувр мұражайының өрт қауіпсіздігін қамтамасыз ету ерекшеліктері.....	251
Жирнова А.А., Сидорова Н.В., Халхабай Б. Исследование использования комплексного коагулянта для очистки промышленных и сточных вод от сероводорода	254
Койшубекова Ф.А., Жаркенов Е.Б. Современные методы моделирования систем дождевой канализации для повышения качества проектирования	259
Қуанышев С.М., Смагулова Э.М. Применение мембранных технологий для очистки сточных вод на промышленных предприятиях Казахстана	264
Джартаева Д.К., Кусаин С.Ә. Использование энергии потока воды в трубопроводах для генерации электроэнергии	265
Момыш Б.А., Касабекова Г.Т. Тұщы су тапшылығын шешудің жаһандық жолы.....	269
Нургазинов А.Е., Мухтаров А.К. Обоснование внедрения «зеленых» технологий водоснабжения и водоотведения в г. Астана.....	275
Серікқалиева Д.А., Абдулла Ш.А., Муханова Т.Б. Су тазарту процестерін интеллектуалдандырудың экологиялық және энергетикалық тиімділікке әсері	278
Тохтиев И.А., Касабекова Г.Т. Инновационные решения и новые технологии в сфере водоотведения.....	283
Уразбек Н.А., Утепбергенова Л.М. Астана қаласының құбырларындағы су шығындары: талдау, оңтайландыру және шешу жолдары	287
Үсенбаева А. З., Жаркенов Е.Б. Көппәтерлі тұрғын үйлерде коммуналдық-тұрмыстық сарқынды суларды бөлу	293
Югай М.А., Смагулова Э.М. Повышение качества питьевой воды в Республике Казахстан на основе автоматизированных технологий управления.....	297

Раздел III. СТРОИТЕЛЬСТВО

3.1 СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА

УДК 624.012

Есетов Ш.Р., ст. гр. ТПГС-24-5 МОК (КазГАСА)

Келемешев А.Д., к.т.н., ассоц. профессор МОК (КазГАСА)

КОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В статье рассматриваются различные виды и примеры использования современных композитных материалов в строительстве. Анализируются основные преимущества и недостатки рассматриваемых материалов.

Ключевые слова: композиционные материалы, свойства композитных материалов, композитная арматура, усиление конструкций композитными материалами.

Мақалада құрылыста қолданылатын заманауи композициялық материалдардың әртүрлі түрлері мен оларды пайдалану мысалдары қарастырылады. Қарастырылған материалдардың негізгі артықшылықтары мен кемшіліктері талданады.

Түйін сөздер: композициялық материалдар, композициялық материалдардың қасиеттері, композитті арматура, конструкцияларды композиттік материалдармен күшейту.

The article examines various types and examples of the use of modern composite materials in construction. The main advantages and disadvantages of the materials under consideration are analyzed.

Keywords: composite materials, properties of composite materials, composite reinforcement, strengthening of structures with composite materials.

Введение

В наше время строительство очень быстро развивается, и появляются новые материалы, которые намного лучше старых. Одними из таких материалов являются композиционные (композитные) материалы. Они становятся всё более популярными, так как они обладают малым весом, высокой прочностью, долго служат и не боятся внешних воздействий. Существуют различные виды композиционных материалов: углепластиковые, базальтопластиковые, стеклопластиковые, из арамидных волокон. В строительстве в мире их используют уже более 30 лет, чтобы сделать конструкции легкими, прочными и долговечными [1-7].

Что такое композиционные материалы?

Композиционные материалы – это материалы, которые состоят из двух или более частей. Эти части работают вместе и дают лучший результат.

Обычно в составе имеется: матрица – это основа (например, пластик или цемент), которая держит всё вместе; армирующий материал – это то, что усиливает материал (например, стекловолокно или углеродное волокно).

Матрица защищает материал и распределяет нагрузку, а армирующий элемент делает его более прочным.

Виды композиционных материалов

Композиционные материалы можно разделить на несколько видов.

По типу основы: полимерные (на основе пластика); металлические; керамические

По виду усиления: волокнистые (например, углеволокно, стекловолокно, базальтоволокно); с частицами; слоистые.

Проще говоря, различие в том, из чего они сделаны и как устроены внутри.

Свойства композиционных материалов

У этих материалов есть много положительных свойств: они очень прочные, но при этом лёгкие; не ржавеют, в отличие от металла; служат долго; устойчивы к химическим веществам; хорошо сохраняют тепло и звук.

Самое главное –меняя их состав, можно получить нужные свойства.

Как их производят?

Есть разные способы производства: литьё; прессование; намотка; ламинирование

Выбор способа зависит от того, какой материал нужен и где он будет использоваться.

Плюсы и минусы

Плюсы:

- маленький вес;
- высокая прочность;
- не боятся влаги и химически агрессивных сред;
- долго служат;
- не требуют частого ремонта.

Минусы:

- некоторые материалы дорогие;
- сложное их производство;
- не все выдерживают высокую температуру;
- трудно перерабатывать

Арматура

Сейчас всё чаще используют композитную арматуру и сетку вместо стальной, потому что она не ржавеет, то есть не подвергается коррозии, *рис. 1, 2.*



Рисунок 1 – Композитная арматура



Рисунок 2 – Композитная арматура и сетка

Где применяются в строительстве?

Композиционные материалы используются практически везде: в новом строительстве в качестве отдельных элементов в строительных конструкциях; при ремонте и реконструкции эксплуатируемых зданий и сооружений.

Фасады

Композитные панели применяются для облицовки зданий. Они лёгкие и красиво и выразительно выглядят.

Дороги и мосты

Из композитов делают отдельные части мостов и дорог, так эти материалы способны выдерживать значительные нагрузки.

Крыши

Материал используется для создания лёгких и прочных кровельных материалов зданий (рис. 3).

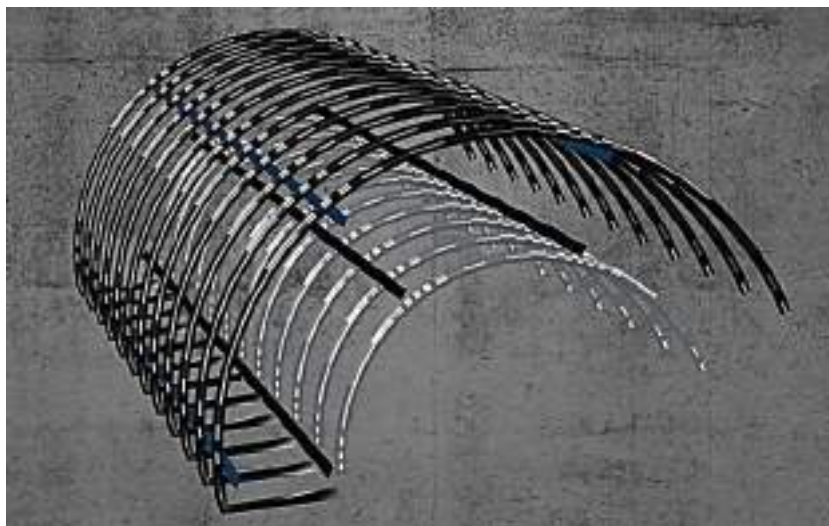


Рисунок 3 – Изделие из композитного материала.

Усиление конструкций композитными материалами – это современный способ сделать здание прочнее без серьезной перестройки. Чаще всего используют материалы на основе углеродного или стекловолокна. Они легкие, но при этом очень прочные и не ржавеют, поэтому подходят для ремонта и усиления старых конструкций.

Суть метода в том, что на поверхность балки, колонны или плиты наклеивают специальные композитные ленты или ткани. Они принимают на себя часть нагрузки, особенно на растяжение, и тем самым уменьшают напряжение в самой конструкции. Благодаря этому увеличивается прочность и срок службы элемента.

Работы проходят в несколько этапов: сначала очищают и подготавливают поверхность, затем наносят клей (обычно эпоксидный) и закрепляют композитный материал. Такой способ удобен тем, что не требует разборки конструкции и занимает относительно мало времени.

Ремонт и усиление зданий. С помощью композитов усиливают конструкции старых существующих зданий и сооружений. Ими можно усилить колонны, балки, плиты перекрытия и другие конструкции. Использование при усилении строительных конструкций композитных материалов позволяет повысить их несущую способность примерно 1,5-1,8 раза. На рисунках 4, 5 показан порядок проведения работ по усилению колонн и балок углепластиковым холстами.



Рисунок 4 – Последовательность работ по усилению колонн существующего здания:
1 – нанесение грунтовки на поверхность конструкции; 2 – укладка выравнивающего слоя (при необходимости); 3 – нанесение первого слоя клея на основание; 4 – укладка холста и прокатывание по нему резиновым валиком до полного смачивания волокон;
5 – нанесение второго слоя клея на поверхность холста; 6 – нанесение защитного покрытия)



Рисунок 5 – Усиление стальной балки композитным материалом.

Будущее композиционных материалов

С каждым годом композиты становятся всё популярными в строительстве. В настоящее время учёные работают над тем, чтобы сделать их производство дешевле и ещё выше повысить свойства.

Заключение

Композиционные материалы играют всё более важную роль в строительстве. Они помогают делать здания прочнее, легче и долговечнее.

Несмотря на некоторые недостатки, их применение постоянно растёт и, несомненно, в будущем эти материалы будут использоваться значительно шире, чем в настоящее время.

Литература:

1. Бахолдин Д.Г. Применение композитных материалов в строительстве. – 2024. – URL: <https://sciup.org/primenenie-kompozitnyh-materialov-v-stroitelstve>.
2. Аннамуродова А., Байрамдурдыев А. Использование композитных материалов в строительстве. – 2024. – URL: <https://xn--8sbemprclcw3bmt.xn--p1ai/article/16113>.
3. Ванус Д. С. Экономическая эффективность применения композитной арматуры. – 2025. – URL: <https://journals.rcsi.science/2500-3747/article/view/369036>.
4. Селезнев К.А. Применение нанокompозитов в строительстве. 2025. – URL: <https://research-journal.org>.
5. Жуматай Д.Ж. Композитные технологии в железобетонных конструкциях. 2025. – URL: <https://moluch.ru>.
6. Безотечество В. А. Роль инновационных материалов в развитии строительства. – 2025. – URL: <https://scilead.ru>.
7. Композитные материалы в строительстве: преимущества и недостатки. 2024. – URL: <https://resano.ru>.

УДК 624.04:004.94

Исмаилова А.С., ст. гр. Пгс-23, Атырауский университет нефти и газа имени Сафи Утебаева (АУНиГ)

Салпакаева Р.К., ст. преп., Атырауский университет нефти и газа имени Сафи Утебаева (АУНиГ)

ВІМ І ЧИСЛЕННЕ МОДЕЛІВАННЯ УСТОЙЧИВОСТІ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ: ІНТЕГРАЦІЯ МЕТОДІВ І ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

В статье рассматриваются вопросы интеграции технологий информационного моделирования зданий (ВІМ) с методами численного моделирования устойчивости строительных конструкций. Проведён анализ современных программных комплексов, реализующих совместное использование ВІМ-моделей и расчётных методов конечных элементов. Рассмотрены примеры практического применения интегрированного подхода при оценке устойчивости колонн, пластин и оболочек.

Ключевые слова: ВІМ, численное моделирование, устойчивость конструкций, метод конечных элементов, Revit, ANSYS, потеря устойчивости, цифровое строительство.

Мақалада ғимараттарды ақпараттық модельдеу технологияларын (ВІМ) құрылыс конструкцияларының тұрақтылығын сандық модельдеу әдістерімен біріктіру мәселелері қарастырылады. ВІМ модельдерін және соңғы элементтердің есептеу әдістерін бірлесіп қолдануды жүзеге асыратын заманауи

бағдарламалық кешендерге талдау жасалды. Бағандар, пластиналар мен қабықшалардың тұрақтылығын бағалауда интеграцияланған тәсілді практикалық қолдану мысалдары қарастырылады.

Түйін сөздер: BIM, сандық модельдеу, құрылымдық тұрақтылық, ақырлы элементтер әдісі, Revit, ANSYS, тұрақтылықты жосалту, цифрлық құрылыс.

The article examines the integration of Building Information Modeling (BIM) technologies with numerical methods for structural stability analysis. Modern software systems implementing BIM and finite element method are analyzed. Practical examples of integrated approach application for columns, plates and shells stability assessment are presented. The conclusions confirm the prospects of this approach in the context of construction industry digitalization.

Keywords: BIM, numerical modeling, structural stability, finite element method, Revit, ANSYS, buckling, digital construction.

Современное строительство переживает период активной цифровой трансформации, ключевым элементом которой является технология информационного моделирования зданий – Building Information Modeling (BIM). Согласно данным Национального института строительных наук США (NIBS), применение BIM сокращает количество ошибок при проектировании на 40%, а общие затраты – на 10-15% [1]. Параллельно развиваются методы численного анализа конструкций, прежде всего метод конечных элементов (МКЭ), позволяющий решать задачи механики деформируемого твёрдого тела, в том числе задачи об устойчивости.

Устойчивость конструкций – способность сооружения сохранять исходную форму равновесия при действии внешних нагрузок – является одной из важнейших проблем строительной механики. Потеря устойчивости колонн, тонкостенных элементов, оболочек может привести к прогрессирующему разрушению всего сооружения. Классические аналитические методы (формула Эйлера, теория Тимошенко) эффективны для простых случаев, однако при сложной геометрии, комбинированных нагрузках и неоднородных граничных условиях необходимо прибегать к численным методам.

Интеграция BIM и численного моделирования открывает принципиально новые возможности: расчётная модель формируется непосредственно на основе BIM-данных, что исключает дублирование ввода информации, снижает риск ошибок при передаче данных и позволяет оперативно обновлять расчётную схему при изменении проектного решения [2].

Цель данной статьи – проанализировать современное состояние интеграции BIM и численного моделирования устойчивости, рассмотреть практические примеры и оценить перспективы развития подхода.

Задача об устойчивости в линейной постановке сводится к нахождению критических нагрузок, при которых основное состояние равновесия перестаёт быть единственным. В рамках МКЭ данная задача формулируется как задача на собственные значения:

$$[K] - \lambda[K\sigma])\{u\} = \{0\}$$

где $[K]$ – матрица жёсткости конструкции, $[K\sigma]$ – геометрическая матрица жёсткости (матрица начальных напряжений), λ – коэффициент критической нагрузки, $\{u\}$ – вектор перемещений. Минимальное собственное значение $\lambda_{\min}$ даёт коэффициент запаса устойчивости [3].

Для нелинейного анализа устойчивости применяются метод Ньютона-Рафсона, метод длины дуги (метод Риккса), позволяющие проследивать кривую равновесных состояний, включая ниспадающие ветви после прохождения критической точки.

В программных комплексах ANSYS, ABAQUS, Nastran реализованы оба подхода – линейный (eigenvalue buckling) и нелинейный (nonlinear buckling) [4].

BIM представляет собой не просто трёхмерную геометрическую модель, но единую информационную среду, содержащую данные о геометрии, материалах, нагрузках, соединениях и жизненном цикле сооружения. Стандарт ISO 19650 регламентирует организацию информационного менеджмента на основе BIM при проектировании и строительстве [5].

Ключевым инструментом обмена данными между BIM-платформой и расчётными программами служит открытый формат IFC (Industry Foundation Classes), разрабатываемый организацией buildingSMART International. Формат IFC4 поддерживает передачу аналитических моделей (Ifc Structural Analysis Model), что позволяет экспортировать расчётную схему непосредственно из Autodesk Revit или ArchiCAD в программы конечно-элементного анализа – ANSYS Mechanical, Tekla Structural Designer, ETABS [2].

Исследование Eastman et al. (2018) показало, что прямой экспорт через IFC сокращает время подготовки расчётной модели на 35–50% по сравнению с ручным вводом данных [6]. Вместе с тем авторы указывают на проблемы точности передачи граничных условий и свойств соединений, что требует верификации модели после импорта.

В работе Franca & Kimura (2022), опубликованной в Journal of Constructional Steel Research, рассматривается методология совместного применения Revit и ANSYS для оценки устойчивости многоэтажного стального каркаса [7]. Авторы создали параметрическую BIM-модель 10-этажного здания с поперечными и продольными рамами из профилей HEA 300. Через формат IFC модель была передана в ANSYS Mechanical, где проведён линейный и нелинейный анализ устойчивости с учётом начальных несовершенств формы.

Результаты показали, что коэффициент критической нагрузки для наиболее нагруженных колонн составил $\lambda = 4,7$ (линейный анализ) и $\lambda = 3,9$ (нелинейный анализ с учётом несовершенств 1/500 длины стержня). Разница в 17% между линейным и нелинейным подходом подтверждает необходимость учёта несовершенств при проектировании высоких каркасных зданий. Применение BIM позволило сократить время формирования расчётной модели с 3 рабочих дней до 6 часов.

Другим показательным примером служит исследование Sadowski & Rotter (2023), посвящённое цилиндрическим резервуарам под осевым сжатием [8]. Параметрическая BIM-модель резервуаров различного соотношения радиус/толщина ($R/t = 100–500$) была создана в среде Tekla Structures, после чего через API-интерфейс передана в ABAQUS. Нелинейный анализ методом длины дуги выявил характерные формы потери устойчивости – осесимметричное смятие и несимметричное «алмазное» выпучивание – и позволил построить карту критических нагрузок в зависимости от геометрических параметров.

Авторы отметили, что использование единой BIM-среды обеспечило автоматическое обновление расчётных моделей при изменении геометрических параметров, что критически важно при параметрических исследованиях с большим числом вариантов.

В России и Казахстане интеграция BIM с расчётными задачами активно развивается, начиная с 2018–2020 годов, когда были введены нормативные требования по применению BIM в государственном строительстве. Работа Гинзбурга А. В. и Рыбакова В. А. (2021) демонстрирует опыт применения Autodesk Revit и LIRA-SAPR для совместного анализа железобетонных каркасов [9].

Авторы разработали плагин-конвертер, обеспечивающий двунаправленный обмен данными между платформами и позволяющий передавать не только геометрию, но и результаты расчёта – эпюры усилий, деформированное состояние – обратно в BIM-модель для визуализации.

Несмотря на очевидные преимущества, интеграция BIM и численного моделирования сталкивается с рядом проблем.

Во-первых, форматы IFC не обеспечивают полной передачи расчётных данных: граничные условия, нелинейные свойства материалов и параметры соединений зачастую требуют ручной корректировки.

Во-вторых, сложность и детализация BIM-модели не всегда соответствует требованиям расчётной схемы: избыточная детализация увеличивает размер задачи, а упрощение может привести к потере существенных конструктивных особенностей [2].

В-третьих, отсутствие единых стандартов представления расчётных нагрузок в IFC ограничивает автоматизацию передачи нагрузочных комбинаций [6].

На основании проведённого анализа можно сформулировать следующие выводы:

1. Интеграция BIM и численного моделирования устойчивости представляет собой перспективное направление, позволяющее существенно сократить трудоёмкость расчётного этапа проектирования и повысить достоверность результатов за счёт единой информационной среды.

2. Ключевым инструментом обмена данными между BIM-платформами и расчётными программами является формат IFC, однако на сегодняшний день он не обеспечивает полной автоматизации передачи всех расчётных данных, что требует разработки специализированных API-интерфейсов и плагинов.

3. Практические примеры (стальные каркасы, тонкостенные оболочки, железобетонные конструкции) подтверждают эффективность совместного применения BIM и МКЭ при решении задач устойчивости, особенно при параметрических исследованиях с большим числом вариантов.

4. Разница между результатами линейного и нелинейного анализа устойчивости достигает 15–20%, что указывает на необходимость применения нелинейного подхода при проектировании ответственных конструкций.

Интеграция BIM-технологий и численных методов моделирования устойчивости строительных конструкций является одним из наиболее актуальных направлений цифровизации строительной отрасли.

Переход от параллельного использования двух независимых инструментов к единой интегрированной рабочей среде позволяет не только повысить эффективность проектного процесса, но и обеспечить сквозную прослеживаемость данных от концептуального решения до детального конструктивного расчёта.

Дальнейшие исследования в данной области должны быть направлены на совершенствование стандартов обмена расчётными данными, разработку надёжных методов верификации импортированных моделей и создание интегрированных платформ, объединяющих BIM-моделирование с расширенными возможностями нелинейного анализа устойчивости. Особого внимания заслуживает применение машинного обучения для интеллектуального упрощения BIM-моделей при подготовке расчётных схем.

Литература:

1. *National Institute of Building Sciences. Whole Building Design Guide: BIM Overview.* – Washington, D.C.: NIBS, 2020. – 48 p.

2. Eastman, C. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers* / C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, K. Liston. – 3rd ed. – Hoboken: John Wiley & Sons, 2018. – 688 p.
3. Тимошенко, С.П. *Устойчивость стержней, пластин и оболочек* / С.П. Тимошенко, Дж. Гере. – М.: Наука, 1971. – 808 с.
4. ANSYS Mechanical APDL Structural Analysis Guide. Release 2023 R1. – Canonsburg : ANSYS Inc., 2023. – 975 p.
5. ISO 19650-1:2018. *Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM). Information management using building information modelling*. – Geneva : ISO, 2018. – 44 p.
6. Sacks, R. *BIM Handbook* / R. Sacks, C. Eastman, G. Lee, P. Teicholz. – 4th ed. – Hoboken : John Wiley & Sons, 2024. – 720 p.
7. Franca, R.M. *Integrated BIM-FEM methodology for stability analysis of multi-storey steel frames* / R. M. Franca, T. Kimura // *Journal of Constructional Steel Research*. – 2022. – Vol. 192. – P. 107231.
8. Sadowski, A. J. *Numerical buckling analysis of cylindrical shells using BIM-integrated parametric models* / A. J. Sadowski, J. M. Rotter // *Thin-Walled Structures*. – 2023. – Vol. 184. – P. 110493.
9. Гинзбург, А.В. *Интеграция BIM-платформы Revit и расчётного комплекса LIRA-SAPR для анализа железобетонных конструкций* / А.В. Гинзбург, В.А. Рыбаков // *Промышленное и гражданское строительство*. – 2021. – № 4. – С. 12–19.
10. Броде, М.Е. *Численное моделирование потери устойчивости тонкостенных конструкций методом конечных элементов* / М.Е. Броде, И.Н. Поляков // *Строительная механика и расчёт сооружений*. – 2022. – № 1 (300). – С. 45–53.

УДК 696.1

Калым Н.М., магистрант гр. МИСиС-25 (Д) МОК (КазГАСА)
Аубакирова Б.М., к.т.н., профессор МОК (КазГАСА)

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА МОНТАЖНЫХ РАБОТ: АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ И ПЕРСПЕКТИВ

В статье рассматривается применение визуализации инженерных систем на основе BIM-технологий как инструмента повышения качества монтажных работ в строительстве. Актуальность исследования обусловлена усложнением инженерных решений и необходимостью точной координации участников строительного процесса. Целью работы является анализ возможностей визуализации инженерных систем и определение перспектив их использования.

Ключевые слова: визуализация, инженерные системы, BIM-технологии, монтажные работы, строительство, проектирование, перспективы.

Мақалада құрылыста монтаждық жұмыстардың сапасын арттыру құралы ретінде BIM-технологиялар негізінде инженерлік жүйелерді визуализациялау қарастырылады. Зерттеудің өзектілігі инженерлік шешімдердің күрделенуімен және құрылыс процесіне қатысушылардың нақты үйлестіру қажеттілігімен байланысты. Жұмыстың мақсаты – инженерлік жүйелерді визуализациялау мүмкіндіктерін талдау және олардың қолданылу перспективаларын анықтау.

Түйін сөздер: визуализация, инженерлік жүйелер, BIM-технологиялар, монтаждық жұмыстар, құрылыс, жобалау, перспективалар.

The article examines the application of engineering systems visualization based on BIM technologies as a tool for improving the quality of installation works in construction. The relevance of the study is determined by the increasing complexity of engineering solutions and the need for precise coordination among participants in the construction process. The aim of the work is to analyze the capabilities of engineering systems visualization and determine the prospects for its application.

Keywords: *visualization, engineering systems, BIM technologies, installation works, construction, design, prospects.*

Введение

Визуализация инженерных систем в современных условиях развития строительной отрасли становится одним из ключевых инструментов повышения качества монтажных работ. Усложнение инженерных решений, рост масштабов проектов и необходимость точной координации различных разделов проектной документации требуют перехода от традиционных методов проектирования к цифровым технологиям, обеспечивающим более высокий уровень точности и управляемости строительных процессов.

В международной практике данное направление тесно связано с внедрением технологий информационного моделирования зданий (BIM), которые позволяют формировать цифровые модели инженерных систем с возможностью их трёхмерной визуализации, анализа и координации. Использование BIM обеспечивает интеграцию всех участников проекта в единую информационную среду, что способствует снижению количества ошибок, выявлению коллизий на ранних стадиях и повышению эффективности реализации строительных проектов.

Сущность рассматриваемой проблемы заключается в том, что традиционные подходы к проектированию, основанные на двумерной документации, не обеспечивают достаточного уровня координации инженерных решений. Это приводит к возникновению ошибок на стадии монтажа, увеличению объёма переделок, росту затрат и снижению качества строительных работ. В свою очередь, применение методов визуализации позволяет заранее выявлять потенциальные несоответствия и оптимизировать процесс реализации проекта.

В условиях цифровизации строительной отрасли и перехода к комплексным информационным моделям зданий проблема эффективного использования визуализации инженерных систем приобретает особую актуальность и требует дополнительного научного осмысления.

Целью настоящего исследования является анализ существующих методов визуализации инженерных систем на основе BIM-технологий, выявление проблем их внедрения и определение перспектив повышения качества монтажных работ в строительстве.

Для достижения поставленной цели решаются следующие **задачи исследования**:

- проанализировать современные подходы к визуализации инженерных систем;
- рассмотреть используемые программные средства BIM-проектирования;
- выявить основные проблемы внедрения технологий;
- оценить влияние визуализации на качество монтажных работ;
- определить перспективы развития цифровых технологий в строительстве.

Актуальность исследования обусловлена усложнением инженерных решений и необходимостью точной координации участников строительства. По данным исследований, около 30% проектов сталкиваются с задержками из-за невыявленных коллизий, а их устранение увеличивает стоимость на 5–10%. При этом применение BIM-технологий позволяет сократить время обнаружения коллизий до 40%, однако уровень практического внедрения остаётся ограниченным, несмотря на осведомлённость специалистов до 94%.

Научная новизна исследования заключается в развитии теоретико-методологических основ анализа визуализации инженерных систем в контексте повышения качества монтажных работ в условиях цифровой трансформации строительной отрасли.

В отличие от существующих работ, в исследовании:

- визуализация инженерных систем рассматривается не только как инструмент графического представления проектных решений, но и как многоуровневый механизм повышения качества монтажных процессов, обеспечивающий снижение технологических ошибок и повышение координации участников строительства;
- уточнена роль BIM-технологий как интеграционной платформы, обеспечивающей взаимодействие между этапами проектирования, моделирования и монтажа инженерных систем;
- обосновано, что ключевым эффектом применения визуализации является снижение пространственных и технологических коллизий, возникающих при реализации инженерных решений на строительной площадке;
- предложен подход к рассмотрению BIM-визуализации как элемента цифрового управления качеством строительного производства;
- выявлены основные барьеры внедрения визуализации инженерных систем, включая институциональные, технологические и кадровые ограничения.

Материалы и методы

В рамках данного исследования использовался комплекс теоретических и прикладных методов, направленных на анализ эффективности применения визуализации инженерных систем на основе BIM-технологий в процессе проектирования и монтажа.

Методологическую основу работы составили методы анализа научной литературы и международного опыта внедрения BIM-технологий, что позволило выявить основные тенденции, преимущества и ограничения использования информационного моделирования в строительной отрасли. Особое внимание уделялось методу выявления пространственных коллизий, реализуемому с помощью специализированных программных средств. Данный метод позволил оценить эффективность раннего обнаружения пересечений инженерных коммуникаций и их влияние на снижение ошибок на этапе монтажа. Также в исследовании применялись методы сравнительного анализа, направленные на сопоставление традиционных подходов к проектированию с использованием двумерной документации и современных BIM-технологий.

Для оценки эффективности внедрения BIM применялись методы количественного анализа, основанные на обработке статистических данных из научных источников и практических проектов. Рассматривались такие показатели, как снижение количества коллизий, сокращение сроков строительства, уменьшение затрат и объёма переделок.

Результаты и обсуждения

Результаты работы, проведённой среди специалистов строительной отрасли Южной Азии, показали, что использование BIM-технологий сопровождается рядом существенных проблем. Несмотря на высокий уровень осведомлённости специалистов (около 94%), внедрение технологии остаётся ограниченным. Одной из ключевых трудностей является недостаточное понимание преимуществ BIM, а также сопротивление переходу от традиционных методов проектирования. Существенным барьером выступает отсутствие государственной поддержки и нормативной базы, а также различный уровень подготовки участников проектов, что затрудняет эффективную координацию [1].

Библиометрические исследования, направленные на анализ внедрения BIM в строительстве, показали, что использование технологии сопровождается рядом системных проблем и ограничений. Несмотря на активное развитие BIM на глобальном уровне, уровень его применения в отдельных странах остаётся неравномерным. Например, в США внедрение технологии началось на государственном уровне ещё в 2003

году, когда была введена программа National 3D-4D-BIM предусматривающая обязательное использование BIM в государственных проектах. Это способствовало активному распространению технологии как в промышленности, так и в образовательной среде [2].

В Великобритании также наблюдается высокий уровень внедрения BIM: с 2016 года введено требование обязательного использования BIM в проектах, финансируемых государством, что привело к значительному росту его применения в отрасли. Китай, в свою очередь, активно развивает BIM при поддержке государства, рассматривая его как ключевой элемент цифровизации строительной отрасли [2].

Результаты исследования, посвящённого применению интеллектуальных алгоритмов для проверки коллизий в BIM-проектах, показали, что одной из ключевых проблем строительной отрасли являются ошибки, связанные с несвоевременным обнаружением коллизий. Установлено, что около 30% строительных проектов сталкиваются с задержками именно из-за невыявленных на ранних стадиях коллизий в BIM-моделях [3].

Дополнительно выявлено, что существующие программные решения (Navisworks, Solibri) основаны преимущественно на геометрическом анализе, что ограничивает их эффективность, поскольку они не учитывают временные и функциональные характеристики элементов модели. Установлено, что несвоевременно устранённые коллизии могут увеличивать стоимость проекта на 5-10%, что делает их раннее выявление критически важным фактором эффективности строительства. Результаты тестирования разработанного алгоритма на реальных BIM-моделях показали снижение времени обнаружения коллизий до 40%, что подтверждает высокую эффективность применения интеллектуальных методов в проектировании [3].

Полученные данные из исследования, посвящённого применению BIM для поддержки технических задач в строительных проектах (на примере стран GCC), показали, что использование информационного моделирования позволяет выявлять большое количество инженерных коллизий ещё на стадии проектирования. Это обеспечивает эффективную координацию инженерных систем MEP (Mechanical, electrical and plumbing) и предотвращает финансовые потери, связанные с ошибками и переделками на этапе строительства на 10-15%. Установлено, что BIM активно применяется для координации различных инженерных разделов и позволяет обнаруживать 30% коллизий между системами ещё до начала строительных работ. Это существенно упрощает процесс монтажа, снижает количество изменений в ходе строительства и минимизирует необходимость переделок [4].

Комплексный обзор, посвящённый внедрению BIM в устойчивом строительстве, показал, что использование технологии оказывает значительное влияние на экологические, экономические и социальные аспекты отрасли. За счёт цифрового моделирования и управления данными на протяжении всего жизненного цикла проекта обеспечивается более точная координация процессов, что снижает количество ошибок при реализации проектных решений. Установлено, что BIM позволяет заранее планировать потребности в материалах, оборудовании и ресурсах, а также координировать поставки и последовательность выполнения работ. Это способствует упрощению монтажных процессов и снижению несоответствий на стадии монтажа [5].

Основные выводы исследования, посвящённого применению BIM для выявления коллизий в строительной отрасли Казахстана, показали, что обнаружение и устранение коллизий является одним из ключевых факторов повышения эффективности строительных проектов. Установлено, что коллизии представляют собой ошибки позициониро-

вания элементов (пересечения, конфликты), которые при несвоевременном выявлении приводят к снижению производительности, задержкам и необходимости выполнения повторных работ. Отмечается, что в современных BIM-проектах количество выявляемых коллизий может достигать тысяч, что требует их систематизации и разделения на значимые и незначимые для эффективного управления процессом. При этом именно значимые коллизии оказывают прямое влияние на ход строительства и требуют обязательного устранения. Это показало, что использование BIM позволяет выявлять коллизии инженерных систем ещё на стадии проектирования, что предотвращает их возникновение на строительной площадке и снижает объём переделок [6].

Дополнительно результаты международных работ подтверждают наличие системных барьеров внедрения BIM в строительной отрасли Казахстана. К основным проблемам относятся значительные первоначальные инвестиции в программное и аппаратное обеспечение, а также обучение персонала, что особенно затрудняет внедрение BIM для малых и средних предприятий. Существенным барьером является также отсутствие обязательных требований со стороны государственных заказчиков, из-за чего BIM не формирует прямых рыночных преимуществ. Отмечается дефицит квалифицированных специалистов, включая BIM-менеджеров, а также недостаточный уровень цифровых компетенций у части инженерного персонала. Дополнительно выявлена слабая сформированность практик управления проектами в BIM среде, что приводит к отсутствию единых стандартов и снижению эффективности реализации проектов. В совокупности данные факторы замедляют процесс цифровой трансформации строительной отрасли Казахстана, несмотря на признанные преимущества BIM в повышении качества проектирования и монтажа инженерных систем [7].

Заключение

Визуализация инженерных систем, реализуемая на основе BIM-технологий, является эффективным инструментом повышения качества монтажных работ. Применение цифровых моделей позволяет выявлять коллизии инженерных сетей ещё на стадии проектирования, что особенно важно, учитывая, что до 30% строительных проектов сталкиваются с задержками из-за невыявленных коллизий. Их своевременное обнаружение позволяет сократить время выявления до 40%, а также снизить увеличение стоимости проектов на 5-10%, связанное с переделками и ошибками. Это обеспечивает более точную координацию участников проекта, упрощает процесс монтажа и способствует повышению общей эффективности строительных работ. В то же время выявлен ряд проблем, сдерживающих широкое внедрение данных технологий. Несмотря на высокий уровень осведомлённости специалистов (до 94%), BIM применяется ограниченно. К основным причинам относятся недостаточная нормативная база, высокая стоимость внедрения, дефицит квалифицированных специалистов, а также недостаточный уровень взаимодействия между участниками проектов. Дополнительно отмечается, что BIM зачастую используется преимущественно на стадии проектирования, без полного раскрытия потенциала на этапе монтажа.

Проведённый анализ показал, что перспективы развития визуализации инженерных систем связаны с интеграцией интеллектуальных алгоритмов, автоматизацией процессов выявления и анализа коллизий и развитием единой цифровой среды взаимодействия. Особое значение имеет повышение уровня подготовки специалистов и совершенствование нормативно-методической базы.

Литература:

1. Shalaka Hire, Saxali Sandbher, Kisti Buikar, C. B. Amarath. (2021). *Asian Journal of Civil Engineering*, Volume 22. *BIM usage benefits and challenges for site safety application in Indian construction sector*. 1249-1267. <https://doi.org/10.1007/s42107-021-00379-8>
2. Shalaka Hire, Sayali Sandbhor, Kirti Ruikar. (2021). *Archives of Computational Methods in Engineering*, Volume 29. *Bibliometric Survey for Adoption of Building Information Modeling (BIM) in Construction Industry- A Safety Perspective*. 679-693. <https://doi.org/10.1007/s11831-021-09584-9>
3. Савельева И.Д., Лютов М.А., Репрынцев Р.М. *Вестник науки. Умные алгоритмы для проверки коллизий в BIM-проектах*. — 2025. 6 с.
4. Wael Abdelhameed, Esam M. H. Ismail. (2024). *Buildings Journal*. *BIM Use to Support the Technical Tasks in Construction Projects: A Case Study*. <https://doi.org/10.3390/buildings14061534>
5. Shuvo Dip Datta, Bassam A. Tayeh, Ibrahim Y. Hakeem, Yazan I. Abu Aisheh. (2023). *Sustainability Journal*. *Benefits and Barriers of Implementing Building Information Modeling Techniques for Sustainable Practices in the Construction Industry - A Comprehensive Review*. <https://doi.org/10.3390/su151612466>
6. Botagoz Akhmetzhanova, Abid Nadeem, Md Aslam Hossain, Jong R. Kim. (2022). *Buildings Journal*. Volume 12. *Clash Detection Using Building Information Modeling (BIM) Technology in the Republic of Kazakhstan*. <https://doi.org/10.3390/buildings12020102>
7. Alexandr Shakhnovich, Zarina Kabzhan, Nazym Shogelova, Madina Umirzakova, Aida Kim, Nurzhanat Khyzyrbek (2025). *Phased Implementation of Building Information Modeling Technology in Kazakhstan's Construction Industry: From Concept to Implementation*. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202566805001>

УДК 692.33

Махметов А.А., ст. гр. МСтр-25** МОК (КазГАСА)

Ниятбай С.Е., ассоц. профессор МОК (КазГАСА)

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ВЕНТИЛИРУЕМЫХ ФАСАДОВ ДЛЯ ЗДАНИЙ ГРАЖДАНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В статье выполнено сравнительное исследование трёх вариантов фасадной подсистемы навесного вентилируемого фасада с различными типами опорных кронштейнов. Расчёт напряжённо-деформированного состояния проведён в программном комплексе StatUs с учётом основных нагрузок. Проанализированы напряжения, прогибы и реакции в узлах, по результатам чего определён наиболее рациональный вариант, соответствующий требованиям прочности и надёжности.

Ключевые слова: вентилируемые фасады, надёжность, долговечность, гражданские здания, эксплуатационные нагрузки, фасадные системы.

Мақалада әртүрлі тірек кронштейн түрлерімен ерекшеленетін желдетілетін аспалы қасбеттің үш нұсқасының фасадтық ішкі жүйелеріне салыстырмалы зерттеу жүргізілді. Кернеу-деформациялық күйдің есебі негізгі жүктемелерді ескере отырып, StatUs бағдарламалық кешенінде орындалды. Кернеулер, майысулар және түйіндердегі реакциялар талданып, нәтижесінде беріктік пен сенімділік талаптарына сәйкес келетін ең тиімді нұсқа анықталды.

Түйін сөздер: желдетілетін қасбеттер, сенімділік, беріктік, азаматтық ғимараттар, пайдалану жүктемелері, қасбет жүйелері.

The article presents a comparative study of three variants of a ventilated facade subsystem with different types of support brackets. The stress-strain state was analyzed using the StatUs software, taking into account the main loads. Stresses, deflections, and nodal reactions were evaluated, and the most rational design option meeting strength and reliability requirements was identified.

Keywords: ventilated facades, reliability, durability, civil buildings, operational loads, facade systems.

Введение

Современное строительство характеризуется широким применением навесных вентилируемых фасадов благодаря их высоким эксплуатационным и технико-экономическим показателям. Такие системы обеспечивают повышение энергоэффективности зданий, улучшают теплотехнические свойства ограждающих конструкций и увеличивают срок их службы за счёт эффективного удаления влаги из теплоизоляционного слоя [1, 2].

В настоящее время значительное внимание уделяется расчёту фасадных систем в целом, однако влияние конструктивных особенностей опорных кронштейнов на напряжённо-деформированное состояние подсистемы изучено недостаточно. Это затрудняет выбор рациональных решений и может снижать надёжность фасадных конструкций [3, 4, 13].

В связи с этим целью работы является сравнительный анализ работы фасадной подсистемы при различных типах опорных кронштейнов и определение наиболее эффективного конструктивного решения на основе оценки напряжённо-деформированного состояния.

Методика

Расчёт несущей способности фасадной подсистемы выполнен для трёх вариантов конструктивных решений, отличающихся типами опорных кронштейнов, при одинаковых условиях эксплуатации. Во всех вариантах сохранялись неизменными геометрические параметры системы, характеристики здания и нагрузки, что обеспечило корректность сопоставления результатов.

Расчёты проводились в программном комплексе StatUs с учётом собственного веса элементов подсистемы и облицовки, ветровых и гололёдных нагрузок [5]. Оценка работы системы выполнялась по значениям напряжений в элементах, нагрузок на анкерные крепления и прогибов направляющих профилей.

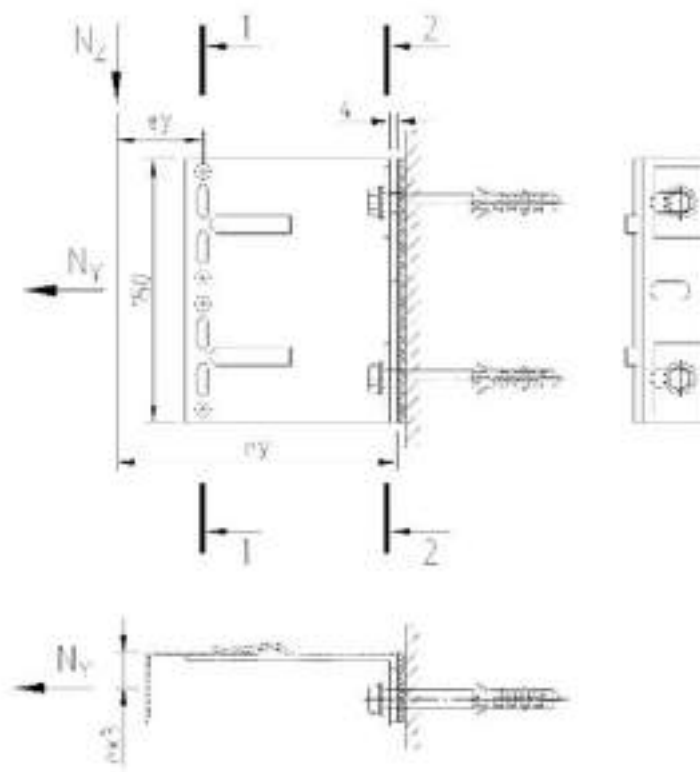


Рисунок 1 – Конструктивные схемы рассматриваемых кронштейнов.

В работе выполнено сравнение трёх вариантов фасадной подсистемы, отличающихся типами применяемых опорных кронштейнов при неизменных геометрических параметрах и условиях эксплуатации. Рассмотрены следующие варианты конструктивных решений:

1. **Вариант 1:** подсистема с применением кронштейна KC-K 105 (Standard 180 L+).
2. **Вариант 2:** подсистема с применением кронштейна KC-K 135 (Standard 180 L).
3. **Вариант 3:** подсистема с применением кронштейна KC-K 405 (Standard N180 L).

Во всех вариантах сохранялись одинаковые параметры системы, включая тип направляющих профилей, шаг установки, вылет подсистемы и условия нагружения, что позволило оценить влияние конструктивных особенностей кронштейнов на напряжённно-деформированное состояние фасадной подсистемы.

По результатам расчётов для каждого варианта фасадной подсистемы определены значения напряжений в элементах направляющих профилей, нагрузок на анкерные крепления и прогибов системы. Расчёты выполнены при одинаковых исходных параметрах, что обеспечило корректность сопоставления полученных результатов.

Для первого варианта установлено выполнение условий прочности и жёсткости всех элементов подсистемы. Максимальные напряжения в направляющих профилях не превышают допустимых значений, а нагрузки на анкерные крепления находятся в пределах расчётной несущей способности. При этом наблюдается менее равномерное распределение усилий по сравнению с другими вариантами.

Во втором варианте также обеспечивается выполнение условий прочности и жёсткости, однако отмечается более равномерное распределение усилий и снижение уровня напряжений в опорных кронштейнах. Полученные результаты свидетельствуют о более эффективной работе конструкции и снижении локальных концентраций напряжений.

В третьем варианте, несмотря на выполнение условий прочности для направляющих профилей и анкерных креплений, выявлено превышение допустимых напряжений в опорном кронштейне. Это связано с увеличением изгибающего момента и перераспределением усилий в системе, что ограничивает применение данного конструктивного решения без дополнительного усиления.

Сравнительный анализ показал, что наиболее рациональным является второй вариант, обеспечивающий оптимальное сочетание прочности, жёсткости и равномерности распределения усилий.

Распределение усилий и характер деформаций для рассматриваемых вариантов наглядно представлены на эпюрах, приведённых на рисунке 2.

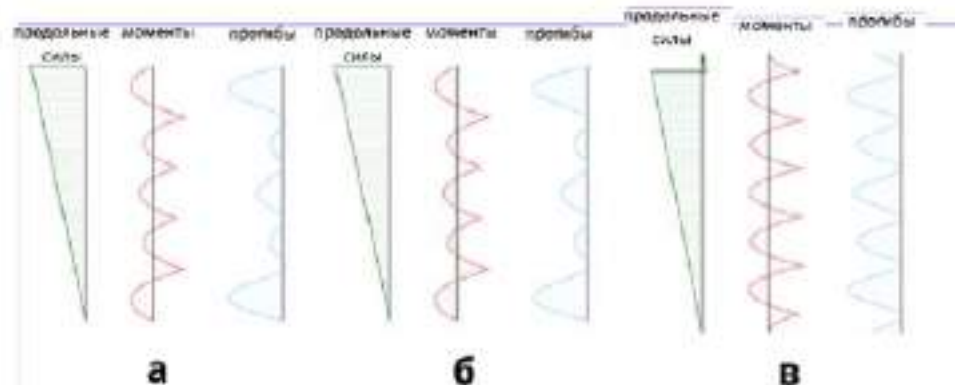


Рисунок 2 – Эпюры продольных сил, изгибающих моментов и прогибов для рассматриваемых вариантов фасадной подсистемы:
а) вариант 1; б) вариант 2; в) вариант 3.

Анализ эпюр подтверждает более равномерное распределение усилий во втором варианте и наличие локальных концентраций напряжений в третьем.

Основные расчётные результаты для рассматриваемых вариантов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные расчётные параметры фасадной подсистемы

Высота, м (шаг про- филя, м) (вылет, м)	Элемент	Ветровая нагрузка	Напряжения, МПа	Вырывающее усилие анкера, кН	Прогиб, см	Выполнение условий прочности
3 м пятипролетная балка КС-П 201 (L 40x60x1,8) 'St 180 L+[2] 4St 180 L+[2] 0,6+0,6+0,6+0,6+0,6.						
20 (0,6) (0,2)	КС-П 201 (L 40x60x1,8)	II В	$90,1 \leq 120$		$0,08 \leq 0,43$	Выполняются для всех элементов
	КС-К 105 (Standard 180 L+)		$91,8 \leq 120$	$0,8 \leq 6$	$0,002 \leq 0,27$	
3 м пятипролетная балка КС-П 201 (L 40x60x1,8) 'St 180 L[2] 4St 180 L[2] 0,6+0,6+0,6+0,6+0,6.						
20 (0,6) (0,2)	КС-П 201 (L 40x60x1,8)	II В	$90,1 \leq 120$		$0,08 \leq 0,43$	Выполняются для всех элементов
	КС-К 135 (Standard 180 L)		$102,3 \leq 120$	$0,93 \leq 6$	$0,003 \leq 0,27$	
3 м пятипролетная балка КС-П 201 (L 40x60x1,8) 'St N180 L[1в] 5St N180 L[1в] 0,2 0,52+0,52+0,52+0,52+0,52 0,2.						
20 (0,6) (0,2)	КС-П 201 (L 40x60x1,8)	II В	$68,8 \leq 120$		$0,04 \leq 0,35$	Выполняются для всех элементов
	КС-К 405 (Standard N180 L)		$109.4 \leq 120$	$1,4 \leq 6$	$0,006 \leq 0,35$	

Для наглядного сопоставления результатов построен график изменения максимальных напряжений в зависимости от варианта конструктивного решения.

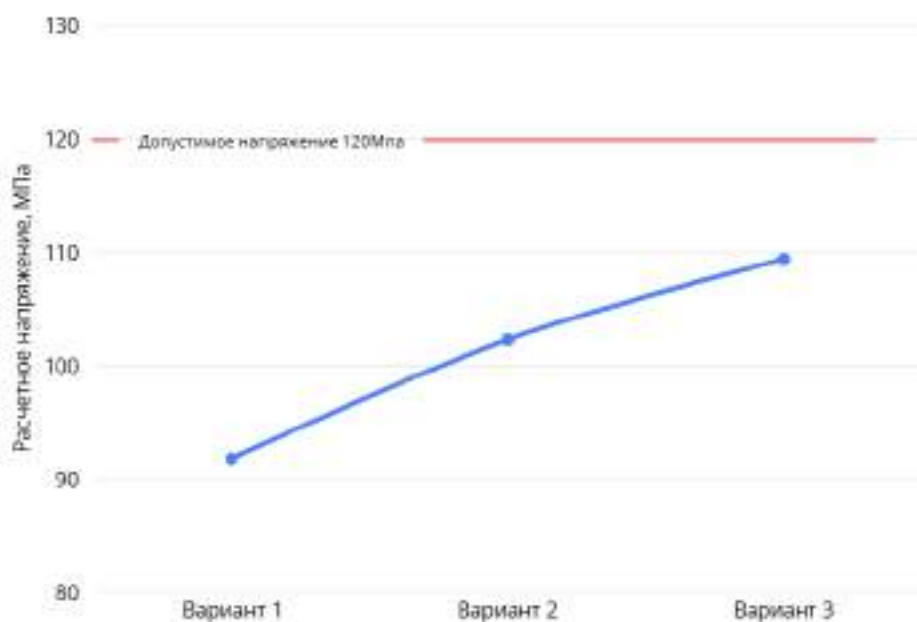


Рисунок 3 – Сравнение максимальных напряжений в опорных кронштейнах.

Дополнительно выполнена оценка зависимости напряжений от стоимости конструктивных решений.

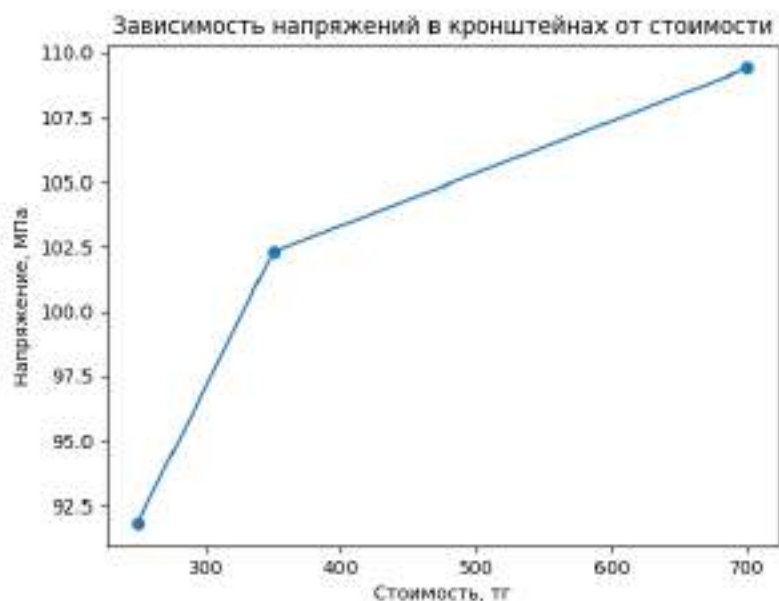


Рисунок 4 – Зависимость напряжений в кронштейнах от стоимости.

Дополнительно выполнена сравнительная экономическая оценка рассматриваемых вариантов фасадной подсистемы. Оценка проводилась на основе ориентировочной стоимости опорных кронштейнов с учётом их конструктивных особенностей и материалоёмкости.

Установлено, что стоимость кронштейна КС-К 105 (Standard 180 L+) составляет порядка 250 тг/шт, кронштейна КС-К 135 (Standard 180 L) – около 350 тг/шт, тогда как стоимость усиленного кронштейна КС-К 405 (Standard N180 L) достигает 700 тг/шт.

Сравнительный анализ показал, что увеличение стоимости конструктивного решения не приводит к пропорциональному повышению его эффективности. В частности, наиболее дорогой вариант (вариант 3) характеризуется повышенными напряжениями и не обеспечивает улучшения прочностных характеристик, тогда как вариант 2 демонстрирует более рациональное соотношение стоимости и эксплуатационной надёжности.

Зависимость напряжений в кронштейнах от стоимости конструктивных решений представлена на рисунке 4.

Вывод

В ходе выполненной работы проведён сравнительный анализ трёх вариантов фасадной подсистемы навесного вентилируемого фасада, отличающихся типами опорных кронштейнов, при одинаковых условиях нагружения и геометрических параметрах.

Установлено, что во всех вариантах обеспечивается выполнение условий прочности и жёсткости основных элементов подсистемы, однако характер распределения усилий и уровень напряжений существенно различаются. В первом варианте наблюдается менее равномерное распределение нагрузок, во втором – более эффективная работа системы за счёт снижения концентраций напряжений, тогда как в третьем варианте выявлено увеличение напряжений в кронштейне (до ≈ 109 МПа), что связано с перераспределением усилий и изменением расчётной схемы.

Сравнительный анализ показал, что второй вариант обеспечивает наиболее рациональное распределение усилий и оптимальное сочетание прочности и жёсткости конструкции.

Дополнительно установлено, что увеличение стоимости конструктивного решения не приводит к пропорциональному повышению его эффективности: наиболее дорогой вариант не обеспечивает улучшения прочностных характеристик, тогда как второй вариант демонстрирует оптимальное соотношение стоимости и эксплуатационной надёжности.

Литература:

1. Tushina V.M. To the problem of bearing capacity and operational reliability of suspended ventilated facade // *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 153. Pp. 799–804. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.245>
2. Maciel A.C.F., Carvalho M.T. Methodology used to investigate the energy savings of opaque ventilated façades in residential buildings in Brazil // *MethodsX*. 2021. Vol. 8. Article 101227. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mex.2021.101227>
3. Zhangabay N., Bonopera M., Oner A. et al. Analysis of the influence of the geometry of a ventilated facade subsystem on its stress–strain state // *Results in Engineering*. 2026. Vol. 29. Article 109127. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2026.109127>
4. Shmelev G.N., Faizullina Z.Z. Connection of cladding with guides of a ventilated façade system // *Building Structures, Buildings and Constructions*. 2024. No. 3(8). Pp. 4–9. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=79562885>
5. Galyamichev A.V. Specific features of determining loads on enclosing structures and their influence on the results of static analysis // *Naukovedenie Internet Journal*. 2015. Vol. 7. No. 2. DOI: <https://doi.org/10.15862/54TVN215>
6. Antonov A.S., Galimullin I.A., Shmelev G.N. Joint connection of cladding panels to façade system guides using a clamp: Patent of the Russian Federation No. 2773087. Published 30.05.2022. URL: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2773087
7. Shmelev G.N., Faizullina Z.Z. Connection of cladding with guides of a ventilated façade system using sheathing // *Building Structures, Buildings and Constructions*. 2024. No. 4(9). Pp. 32–39. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=79566024>
8. Antonov A.S., Galimullin I.A., Shmelev G.N. Joint connection of cladding with guides of an operated façade system: Patent of the Russian Federation No. 2773090. Published 30.05.2022. URL: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2773090
9. Brenner M., Silvestru V.-A., Studer P. et al. Structural behavior of a wire arc additively manufactured steel eye bar for the repair of a historic high-tech facade // *Structures*. 2026. Vol. 84. Article 111073. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2026.111073>
10. Nouri Y., Ghasemi Jouneghani H., Haghollahi A., Memarzadeh P., Hemati E. Experimental and numerical study of seismic performance and failure mechanisms of multi-story elliptic and Quasi-X braced resisting frames // *Results in Engineering*. 2025. Vol. 26. Article 105657. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.105657>
11. Cassol D., Ingham J., Giongo I. Seismic out-of-plane repair and strengthening of masonry infill walls using timber strong-backs // *Structures*. 2025. Vol. 71. Article 107990. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2025.107990>
12. Dinu F., Neagu C., Laszlo R., Ghicioi E., Senila M., Dubina D. Behavior of steel liner tray walls under external blast: Experimental testing and numerical simulations // *Engineering Structures*. 2024. Vol. 310. Article 118106. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2024.118106>
13. Han T.-V., Le Berder A., Nguyen T.-A., Lepourry-Nicollet C., Somja H. Performance assessment of a novel connector for timber frame facades on concrete slabs // *Journal of Building Engineering*. 2025. Vol. 114. Article 114397. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2025.114397>
14. Cuong T.-H., Cuong N.H., Lee J., Lee G., Shin J., Lee K. Comprehensive study on the pull-out strength and failure pattern of cast-in bottom expansion anchors in thin ultra-high performance concrete panels // *Case Studies in Construction Materials*. 2025. Vol. 23. Article e05523. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e05523>

Мукаев Р.А., ст. гр. ТПГС-24-5, МОК (КазГАСА)

Келемешев А.Д., к.т.н., ассоциированный профессор МОК (КазГАСА)

ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДРОНОВ (БПЛА)

Данная работа направлена на систематизацию и анализ современных технологий обследования зданий и сооружений с применением беспилотных летательных аппаратов, а также оценку их эффективности в условиях современной строительной практики.

Ключевые слова: обследование зданий, БПЛА, дроны, фотограмметрия, тепловизионная съемка, дефекты конструкций, мониторинг.

Бұл жұмыс ұшқышсыз ұшу аппараттарын қолдана отырып, ғимараттар мен құрылыстарды зерттеудің қазіргі заманғы технологияларын жүйелеуге және талдауға, сондай-ақ қазіргі заманғы құрылыс тәжірибесі жағдайында олардың тиімділігін бағалауға бағытталған.

Түйін сөздер: ғимараттарды тексеру, БПЛА, дрондар, фотограмметрия, жылулық түсірілім, ақаулар, мониторинг.

The paper is focused on analysis of modern UAV-based technologies for inspection of buildings and structures and evaluation of their efficiency.

Keywords: UAV, drones, inspection, photogrammetry, thermal imaging, defects.

Введение

Беспилотные летательные аппараты представляют собой сложные технические системы, предназначенные для выполнения полетов без присутствия пилота на борту. Управление ими может осуществляться как дистанционно оператором, так и в полностью автономном режиме по заранее заданному алгоритму. Исторически развитие БПЛА началось с примитивных радиоуправляемых устройств, однако на современном этапе они превратились в высокотехнологичные платформы, интегрированные с навигационными системами, вычислительными модулями и интеллектуальными алгоритмами обработки данных. Первоначально данные технологии разрабатывались исключительно в военной сфере, но с развитием электроники, систем связи и программного обеспечения произошло их активное внедрение в гражданские отрасли (рис. 1) [1-5].



Рисунок 1 – Общий вид БПЛА (дрона).

Общий принцип работы и визуальное представление БПЛА

Принцип функционирования БПЛА основан на сочетании аэродинамики, автоматизированного управления и передачи данных. Летательная платформа оснащается двигателями, системой стабилизации, навигационными модулями (GPS/ГЛОНАСС), а также полезной нагрузкой, включающей камеры, датчики и специализированное оборудование.

Управляющие команды передаются через радиоканалы, а информация в реальном времени возвращается оператору или обрабатывается непосредственно на борту.

Использование БПЛА в мониторинге объектов базируется на их способности оперативно получать точные пространственные данные. В отличие от традиционных методов наблюдения, дроны способны проникать в труднодоступные зоны, работать на малых высотах и обеспечивать высокую детализацию съемки.



Рисунок 2 – Использование БПЛА в работе внутри здания.

Одним из фундаментальных преимуществ является экономическая эффективность. Эксплуатация БПЛА требует значительно меньших ресурсов по сравнению с пилотируемой авиацией. Отсутствие экипажа исключает затраты на обучение пилотов и снижает риски. Безопасность является еще одним ключевым фактором. БПЛА позволяют полностью исключить присутствие человека в опасной среде.

Аэрофотосъемка и анализ данных

Высокая точность данных достигается за счет использования современных сенсоров: камер высокого разрешения, тепловизоров, мультиспектральных и лидарных систем.

Полученные изображения обрабатываются с использованием фотограмметрии, формируя ортофотопланы и 3D-модели.

В строительной отрасли БПЛА применяются как инструмент непрерывного геопространственного мониторинга, обеспечивающий регулярное обновление данных о состоянии строительной площадки и динамике выполнения работ.

Дроны выполняют аэрофотосъемку с фиксированных маршрутов, что позволяет получать сопоставимые данные во времени и формировать точные временные ряды изменений объекта. На основе этих данных проводится анализ прогресса строительства с привязкой к календарному графику и этапам проекта.



Рисунок 3 – Производство аэрофотосъемки строительного объекта.

БПЛА интегрируются с системами информационного моделирования зданий (BIM), что позволяет автоматически сопоставлять фактическое состояние объекта с проектными параметрами и выявлять отклонения в геометрии, высотных отметках и расположении конструктивных элементов. Формирование облаков точек высокой плотности дает возможность создавать цифровые трехмерные модели, которые используются для инженерных расчетов, проектных корректировок и контроля качества выполнения работ.

Важным направлением применения является количественный анализ объемов работ, при котором с высокой точностью вычисляются объемы выемки грунта, насыпи, бетонных работ и складированных материалов. Это позволяет контролировать расход ресурсов, снижать перерасход материалов и обеспечивать прозрачность взаимодействия между заказчиком и подрядчиком. Данные БПЛА применяются также для оценки фактической производительности строительной техники и анализа эффективности логистических процессов на площадке.

БПЛА используются для технического контроля качества строительства, включая выявление дефектов поверхности, отклонений конструкций, неправильной установки элементов и нарушений строительных норм. При применении мультиспектральных и тепловизионных камер выполняется диагностика скрытых дефектов, таких как теплопотери, влажностные аномалии и нарушения изоляции конструкций. Это расширяет возможности стандартного визуального контроля и снижает вероятность критических ошибок на поздних этапах строительства.

Отдельным направлением является контроль безопасности труда, при котором дроны фиксируют потенциально опасные зоны, нарушения техники безопасности и несанкционированное нахождение персонала в рискованных участках. Использование БПЛА снижает необходимость физического присутствия инспекторов в опасных условиях и повышает общую безопасность строительного процесса. В результате внедрения БПЛА строительная отрасль переходит к модели цифрового управления объектами, где решения принимаются на основе актуальных данных, а не периодических ручных проверок.

БПЛА начали достаточно широко использоваться при техническом обследовании существующих зданий.

БПЛА сформировали отдельный технологический класс инструментов дистанционного наблюдения и анализа. Их применение в мониторинге и обследовании объектов

основано на сочетании высокой мобильности, точности измерений и возможности работы в недоступных или опасных зонах без участия человека.

Интеграция сенсорных систем, спутниковой навигации и вычислительных модулей обеспечивает получение данных в реальном времени с последующей обработкой в виде карт, моделей и аналитических показателей. Наибольшая эффективность БПЛА проявляется в задачах, где требуется регулярное наблюдение, высокая детализация и оперативность: строительство, энергетическая инфраструктура, сельское хозяйство, экология и горнодобывающая отрасль.

Развитие алгоритмов машинного обучения и автономного управления переводит БПЛА из уровня инструментов фиксации данных в уровень систем интеллектуального анализа. Ограничения технологии связаны с нормативным регулированием, вопросами безопасности полетов, защитой данных и зависимостью от погодных условий. Несмотря на это, направление продолжает развиваться в сторону полной автономности, повышения энергоэффективности и расширения спектра аналитических функций.

Выводы

БПЛА являются одним ключевым элементом современной системы технического обследования, мониторинга и цифрового моделирования строительных объектов и инфраструктуры. БПЛА сформировали отдельный технологический класс инструментов дистанционного наблюдения и анализа.

Литература:

1. Абдрашов, М.А., Темирбек, А.Б. Применение беспилотных летательных аппаратов в строительстве: перспективы и ограничения // *Журнал Инженерных Технологий*. – 8(2). – 2023. – С. 45–58.
2. Айтжанов, Е.С., Султанов, Б.К. Оптимизация процесса строительства с использованием беспилотных летательных аппаратов // *Вестник Строительного Университета*. – 7(3). – 2022. – С. 112–125.
3. Ермек, Ж.К., Сарсембаев, Е.А. Интеграция беспилотных летательных аппаратов в строительный процесс: преимущества и вызовы // *Журнал Строительной Техники*. – 14(4). – 2023. – С. 34–47.
4. Махамбет, Д.С., Жұмабаев, Г.К. Применение беспилотных летательных аппаратов для мониторинга строительных работ // *Журнал Инженерных Технологий и Автоматизации*. – 7(2). – 2022. – С. 25–39.
5. Темирбек, Е.К., Абдрашов, С.Ж. Применение дронов в строительстве: опыт и перспективы // *Журнал Технического Прогресса и Инженерной Механики*. – 7(3). – 2022. – С. 78–91.

ӘОЖ 72.02

Муратбаева М., ст. гр. КГ-23-3к, М. Тынышпаев атындағы АЛТ университеті
Молдагананова А.Г., м.т.н., сениор-лектор, М. Тынышпаев атындағы
АЛТ университеті

АҚЫЛДЫ (SMART) ҚҰРЫЛЫС МАТЕРИАЛДАРЫ ЖӘНЕ СЕНСОРЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕР

Мақалада құрылыстағы «ақылды» материалдар мен сенсорлық мониторинг жүйелерінің интеграциясы зерттелді. Өзіндік қалпына келетін бетон, термохромды және жарық өткізгіш материалдардың қауіпсіздік пен энергия тиімділігін арттырудағы рөлі қарастырылған. IoT технологиясы негізінде ғимараттарды интеллектуалды басқару мүмкіндіктері талданып, технологиялық синергияның экономикалық-экологиялық тиімділігі дәлелденді.

Түйін сөздер: ақылды материалдар, сенсорлық жүйелер, өзін-өзі қалпына келтіретін бетон, IoT, энергия тиімділігі, құрылымдық мониторинг.

В статье исследуется интеграция «умных» материалов и систем сенсорного мониторинга в строительстве. Рассматривается роль самовосстанавливающегося бетона, термохромных и светопроводящих материалов в повышении безопасности и энергоэффективности. Анализируются возможности интеллектуального управления зданиями на базе технологий IoT и обосновывается экономико-экологическая эффективность данной синергии.

Ключевые слова: умные материалы, сенсорные системы, самовосстанавливающийся бетон, IoT, энергоэффективность, структурный мониторинг.

The article examines the integration of "smart" materials and sensor monitoring systems in construction. It explores the role of self-healing concrete, thermochromic, and light-transmitting materials in enhancing safety and energy efficiency. The study analyzes intelligent building management based on IoT technologies and substantiates the economic and environmental efficiency of this technological synergy.

Keywords: smart materials, sensor systems, self-healing concrete, IoT, energy efficiency, structural health monitoring.

Қазіргі кезеңдегі құрылыс индустриясы ғимараттарды тек қана механикалық тұрғыдан тұрақты етуге емес, сонымен қатар олардың функционалды, экологиялық және экономикалық тиімділігін қамтамасыз етуге бағытталған. Ғимараттардың ұзақ мерзімділігін қамтамасыз ету, энергия тиімділігін арттыру, техникалық қызмет көрсету шығындарын азайту және қауіпсіздік стандарттарына сай болу – қазіргі заманғы құрылыс саласының басты міндеттері болып табылады. Осы талаптар аясында ақылды құрылыс материалдары (smart building materials) ерекше маңызға ие болуда. Адамзат өркениетінің дамуымен қатар, бізді қоршаған орта да өзгеріп келеді. Құрылыс саласы ғасырлар бойы консервативті болып саналғанымен, бүгінде ол нағыз технологиялық төңкерісті бастан кешіруде. Дәстүрлі бетон мен болат маңыздылығын жоғалтпаса да, заманауи ғимараттар мен инфрақұрылым объектілеріне қойылатын талаптар түбегейлі өзгерді. Қазіргі уақытта ғимарат тек баспана ғана емес, ол – қауіпсіз, энергия тиімді, экологиялық таза және «зерделі» жүйе болуы тиіс.

Бұл мақсаттарға қол жеткізудің кілті – материалтану мен цифрлық технологиялар тоғысындағы инновациялық шешімдерде. Мақаланың мақсаты – «ақылды» материалдар мен сенсорлық мониторингтің құрылыс саласына тигізер әсерін талдау.

Сенсорлық жүйелер материалдардың физикалық күйін (температура, ылғалдылық, деформация) үздіксіз бақылап, деректерді IoT (Заттар интернеті) платформалары арқылы өңдеуге мүмкіндік береді. Бұл тәсіл конструкциялық ақауларды алдын ала анықтап, жөндеу жұмыстарын уақытында жүргізуге және ғимаратты автоматты түрде басқаруға жол ашады.

Ақылды құрылыс материалдары – бұл сыртқы физикалық немесе химиялық факторларға жауап беретін, өз қасиеттерін өзгерте алатын және кейде өздігінен қалпына келтіре алатын материалдар. Олар ғимараттардың құрылымдық тұрақтылығын арттыруға, энергия тиімділігін қамтамасыз етуге және техникалық қызмет көрсету шығындарын азайтуға мүмкіндік береді.

Өзіндік қалпына келтіретін бетон (Self-Healing Concrete) – құрамында микрокапсулалар немесе бактериялық агенттер бар материал болып табылады. Жарықтар пайда болған кезде бұл агенттер белсенді болып, бетонның тұтастығын қалпына келтіреді. Мұндай материал көпірлерде, жол конструкцияларында, су қоймаларында және өнеркәсіптік ғимараттарда тиімді қолданылады. Бұл технология ғимарат қызметінің ұзақтығын арттырып, жөндеу шығындарын азайтуға мүмкіндік береді [2].

Термохромды және фотохромды материалдар температура немесе жарық деңгейіне бейімделеді. Термохромды материалдар температура өзгерісіне сәйкес түсін өзгертсе, фотохромды материалдар жарық деңгейіне реакция береді. Осы қасиеттердің арқасында ғимарат фасадтары мен терезелерінде жылу режимін тиімді басқаруға болады: жазда беттер салқындап, энергия шығынын азайтса, қысқы мезгілде жылу сақталады. Жарық өткізгіш бетон (Light-Transmitting Concrete) құрамында оптикалық талшықтары бар, олар күн сәулесін сіңіріп, түнде жарық шығара алады. Бұл материал қала көшелерінде, алаңдарда, ғимарат фасадтарында және интерьер дизайнында қолданылады. Жарық өткізгіш бетон қосымша энергия көзін пайдаланбай, эстетикалық көрініс пен қауіпсіздікті қамтамасыз етеді. Энергияны үнемдейтін материалдар күн сәулесінен энергия жинап, термоизоляциялық қасиеті жоғары болады. Олар смарт үйлерде, коммерциялық ғимараттарда және өнеркәсіптік нысандарда энергия шығынын азайту үшін пайдаланылады. Мұндай материалдар ғимараттарды экономикалық тұрғыдан тиімді етуге, сондай-ақ экологиялық таза шешімдерді енгізуге мүмкіндік береді (*1-сур.*) [3].



1-сурет – Ақылды құрылыс материалдарының түрлері.

Соңғы топ – инновациялық композиттер мен жаңа материалдар. Соңғы жылдары ғалымдар нанотехнологиялық композиттер, гидрогель қосылған бетон және интеллектуалды полимерлі қабырғалар сияқты материалдарды дамытты. Бұл материалдар сыртқы әсерлерге молекулалық деңгейде жауап бере отырып, ғимарат құрылымын автоматты түрде бейімдеуге мүмкіндік береді және олар заманауи ғимараттар мен арнайы инженерлік нысандарда кеңінен қолданылады.

Сенсорлық жүйелер – ғимараттың техникалық жағдайын үздіксіз бақылауға арналған заманауи технологиялық құралдар болып табылады. Олар құрылыс элементтері мен қоршаған орта параметрлерін автоматты түрде тіркеп, алынған мәліметтерді өңдеуге мүмкіндік береді. Бұл жүйелердің негізгі мақсаты – ғимараттың қауіпсіздігін қамтамасыз ету және оның эксплуатациялық тиімділігін бақылау. Қолданылатын сенсорлар әртүрлі функцияларды атқарады: температура сенсорлары жылу режимін қадағалай отырып, жылыту және салқындату жүйелерінің тиімді жұмысын қамтамасыз етеді; ылғалдылық сенсорлары материалдардың бұзылу немесе көгеру қаупін алдын ала анықтайды; механикалық кернеу сенсорлары құрылымға түсетін жүктемені бақылай отырып, деформациялардың ерте кезеңдегі пайда болуын тіркейді; жарық сенсорлары табиғи және жасанды жарық деңгейін реттеу арқылы энергия тиімділігін арттырады [4].

Сенсорлық жүйелердің тиімділігі олардың өзара байланысы мен ақпарат алмасу қабілетінде көрінеді. Қазіргі таңда мұндай жүйелер заттар интернеті (IoT) технологиясы арқылы біріктіріліп, біртұтас басқару платформасын құрайды. Сенсорлардан алынған мәліметтер талданып, пайдаланушыға қолжетімді түрде ұсынылып, ғимаратты қашықтан бақылауға және қажетті жағдайда жедел шешім қабылдауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, сенсорлық жүйелер ақауларды алдын ала анықтауда маңызды рөл атқарады. Мысалы, конструкциядағы микрожарықтар, шамадан тыс жүктеме немесе материалдың әлсіреуі дер кезінде тіркеліп, күрделі бұзылулардың алдын алады. Бұл жөндеу шығындарын азайтып, ғимараттың қызмет ету мерзімін ұзартады [5].

Ақылды құрылыс материалдарымен бірге қолданылған сенсорлық жүйелер ғимараттың «интеллектуалды» жұмыс істеуіне мүмкіндік береді. Яғни, материалдар сыртқы әсерге бейімделсе, сенсорлар сол өзгерістерді тіркеп, басқару жүйесіне жеткізеді. Нәтижесінде ғимарат өзін-өзі реттей алатын, энергияны тиімді пайдаланатын және қауіпсіздігі жоғары жүйеге айналады [6].

Сенсорлық жүйелер қазіргі құрылыс саласында ғимараттардың техникалық жағдайын бақылаудың тиімді құралы болып табылады. Олар арнайы құрылғылар арқылы құрылыс нысанының ішіндегі және сыртындағы түрлі көрсеткіштерді өлшеп, алынған ақпаратты жүйеге жеткізеді. Мұндай технологиялар ғимараттың қауіпсіздігін арттыруға және оның жұмысын тиімді ұйымдастыруға мүмкіндік береді. Құрылыс саласында қолданылатын сенсорлар бірнеше бағыт бойынша жұмыс істейді. Температура сенсорлары ғимарат ішіндегі жылу деңгейін анықтап, жылыту немесе салқындату жүйелерінің дұрыс жұмыс істеуін қамтамасыз етеді. Ылғалдылық сенсорлары қабырғалар мен конструкциядағы ылғал мөлшерін бақылай отырып, материалдардың бұзылу қаупін ерте кезеңде анықтайды. Сонымен қатар, кернеу мен қысымды өлшейтін сенсорлар ғимаратқа түсетін жүктемені бақылап, қауіпті өзгерістер туралы алдын ала ескерту жасайды. Ал жарық сенсорлары жарық деңгейін реттеп, электр энергиясын үнемдеуге көмектеседі. Сенсорлық жүйелердің басты ерекшелігі – олардың өзара байланыста жұмыс істеуі. Қазіргі кезде бұл жүйелер «заттар интернеті (IoT)» технологиясы арқылы біріктіріліп, барлық деректерді бір орталыққа жинайды. Жиналған ақпарат арнайы бағдарламалар арқылы өңделіп, пайдаланушыға қолжетімді түрде көрсетіледі. Бұл ғимаратты қашықтықтан бақылауға және басқаруға мүмкіндік береді (2-сур.) [4].



2-сурет – Ақылды материалдар мен сенсорлық жүйелердің интеграциясы арқылы ғимараттың интеллектуалды жұмыс істеуі.

Мұндай жүйелердің тағы бір маңызды артықшылығы – ақауларды алдын ала анықтау мүмкіндігі. Егер ғимарат құрылымында жарық, деформация немесе әлсіреу байқалса, сенсорлар оны бірден тіркеп, дер кезінде шара қолдануға мүмкіндік береді. Осы арқылы ірі апаттардың алдын алуға және жөндеу шығындарын азайтуға болады. Ақылды материалдармен бірге қолданылған кезде сенсорлық жүйелер ғимараттың жұмысын жаңа деңгейге көтереді. Материалдар сыртқы ортаға бейімделсе, сенсорлар осы өзгерістерді бақылап, басқару жүйесіне ақпарат береді. Нәтижесінде ғимарат өзін-өзі реттей алатын, энергияны тиімді пайдаланатын және қауіпсіздігі жоғары жүйеге айналады [6].

Ақылды материалдар мен сенсорлық жүйелердің интеграциясы – ғимараттың беріктігін, қауіпсіздігін және энергия тиімділігін арттыратын кешенді шешім. Бұл технологиялардың басты ерекшелігі – өзіндік бейімделу мен қалпына келу қабілеті. Мысалы, өзіндік қалпына келетін бетон жарықтарды автоматты жою арқылы нысанның қызмет ету мерзімін ұзартып, жөндеу шығындарын азайтады. Ал термохромды және фотохромды материалдар микроклиматты реттеп, энергия ресурстарын үнемдеуге мүмкіндік береді [3].

Сенсорлық жүйелер ғимарат параметрлерін нақты уақыт режимінде бақылап, ауытқуларды дер кезінде анықтауға мүмкіндік береді, бұл қауіпсіздікті арттырып, техникалық қызмет көрсетуді жеңілдетеді. Ақылды материалдармен интеграциясы ғимаратты «ақылды жүйе» ретінде жасап, сыртқы орта жағдайларына бейімделіп, өз күйін автоматты түрде реттеуге мүмкіндік береді.

Бұл технологиялар смарт үйлерде жайлылықты қамтамасыз етіп, температура мен жарықты автоматты басқаруға ықпал етеді; көпірлер мен жол инфрақұрылымында кернеу мен вибрацияны қадағалайды; өнеркәсіптік нысандарда энергияны тиімді пайдалануды қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, автоматтандырылған жүйелер мен энергияны үнемдейтін материалдар көміртегі шығарындыларын азайтып, тұрақты даму қағидаларына сәйкес экологиялық тиімділікті қамтамасыз етеді [6].

Ақылды құрылыс материалдары мен сенсорлық жүйелердің интеграциясы қазіргі құрылыс индустриясында инновациялық маңызды фактор болып табылады, себебі олар ғимараттардың құрылымдық беріктігін, қызмет мерзімін және функционалдық мүмкіндіктерін айтарлықтай арттырады. Ақылды материалдардың қалпына келу және бейімделу қасиеттері нысандардың ұзақ мерзімділігін қамтамасыз етсе, сенсорлық жүйелер нақты уақыт режимінде мониторинг жүргізіп, құрылымдық ақаулар мен қауіп-қатерлерді алдын ала анықтауға мүмкіндік береді. Бұл технологиялық синергия энергия тиімділігін, экологиялық қауіпсіздікті және тұрақты даму қағидаларын жүзеге асыруға ықпал етеді, әрі болашақта «өздігінен ойлайтын» және «өзін-өзі басқаратын» ғимараттарды қалыптастыру арқылы адам өмірінің сапасын және инфрақұрылым тиімділігін айтарлықтай арттыруға жол ашады.

Әдебиеттер:

1. Li, X. *Smart materials in construction. Journal of Construction Engineering*, 2021.
2. Zhao, B. *Self-healing concrete and applications. Springer*, 2019.
3. Kim, J. *Energy-efficient materials for smart buildings. Sustainable Materials*, 2022.
4. Smith, A. *IoT sensors for structural health monitoring. Sensors and Actuators*, 2020.
5. Wang, L. *Innovative building materials and smart systems. Elsevier*, 2020.
6. *Additional research on nanocomposites and smart polymers*, 2021.

Нұрмуханова А.М., магистрант, ЕНУ, Астана қ.
Елеусинова А.Е., ғылыми жетекшісі

ЖҮКТЕМЕНІҢ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТІНІҢ ТЕМІРБЕТОН ҰСТЫНДАРДЫҢ КӨТЕРГІШТІК ҚАБІЛЕТІНЕ ӘСЕРІ: ҚР ҚНЖЕ ЖӘНЕ ҚР ЕУРОКОД 2 БОЙЫНША САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ

Темірбетон ұстындары ғимараттар мен имараттардың негізгі көтергіш элементтерінің бірі болып табылады. Пайдалану кезінде жүктемелер көбінесе қиманың ауырлық центріне дәл келмей, белгілі бір эксцентриситетпен әсер етеді, бұл орталықтан тыс сығылуға әкеледі.

Бұл жұмыста жүктеме эксцентриситетінің темірбетон ұстындарының көтергіш қабілетіне әсері зерттеледі. Орталықтан тыс сығылған элементтің математикалық моделі қарастырылып, ҚНЖЕ және Eurocode 2 нормалары бойынша есептеу әдістеріне салыстырмалы талдау жүргізілді.

Зерттеу нәтижелері эксцентриситеттің артуы ұстынның көтергіш қабілетінің төмендеуіне әкелетінін көрсетті.

Түйін сөздер: темірбетон ұстындары, орталықтан тыс сығылу, жүктеме эксцентриситеті, көтергіш қабілет, Eurocode 2, ҚНЖЕ.

Железобетонные колонны являются основными несущими элементами каркасных зданий и сооружений. В реальных условиях нагрузки часто прикладываются с определенным эксцентриситетом относительно центра тяжести сечения, что приводит к внецентренному сжатию.

В работе исследовано влияние эксцентриситета нагрузки на несущую способность железобетонных колонн. Рассмотрена математическая модель внецентренно сжатого элемента и проведен сравнительный анализ методов расчёта по нормам СНиП и Eurocode 2.

Результаты показывают, что увеличение эксцентриситета снижает несущую способность колонны.

Ключевые слова: железобетонные колонны, внецентренное сжатие, эксцентриситет, несущая способность, Eurocode 2, СНиП.

Reinforced concrete columns are key load-bearing elements of structural frame systems. In practice, loads are often applied with eccentricity relative to the centroid of the cross-section, leading to eccentric compression.

This study investigates the influence of load eccentricity on the load-bearing capacity of reinforced concrete columns. A mathematical model of an eccentrically compressed element is considered, and a comparative analysis of calculation methods according to SNiP and Eurocode 2 is performed.

The results show that increasing eccentricity reduces the load-bearing capacity of the column.

Keywords: reinforced concrete columns, eccentric compression, load eccentricity, load-bearing capacity, Eurocode 2, SNiP.

Кіріспе

Темірбетон құрылыс саласында жоғары беріктігі, ұзақ мерзімділігі және үнемділігі арқасында кеңінен қолданылады [1,2]. Темірбетон элементтерінің беріктігі бетон мен арматураның сыртқы жүктемелер әсеріндегі бірлескен жұмысына байланысты анықталады [1].

Ұстындар ғимараттардың қаңқалық жүйесіндегі негізгі көтергіш элементтер болып табылады және едәуір тік жүктемелерді қабылдайды. Нақты пайдалану жағдайларында жүктеме көбінесе қиманың ауырлық центрі арқылы дәл өтпейді. Жүктеменің осындай ауытқуы қосымша иілу моментінің пайда болуына әкеледі.

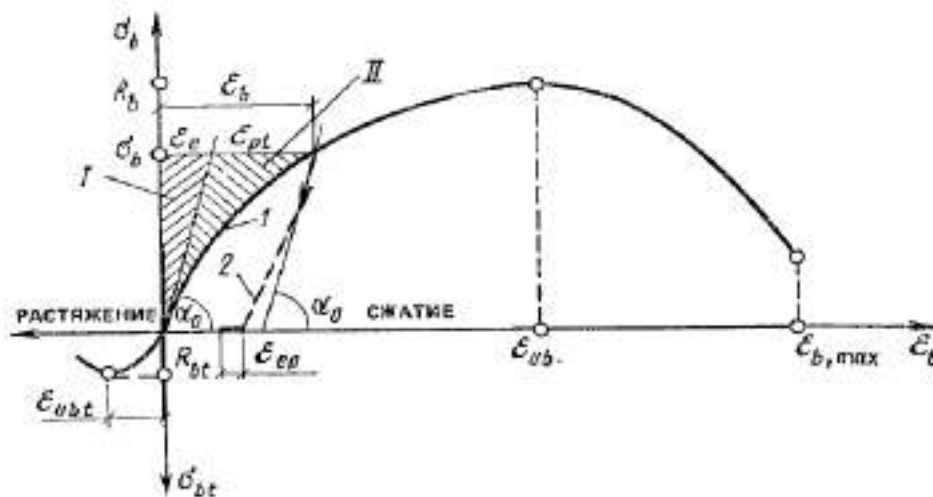
Мұндай кернеулі күй орталықтан тыс сығылу деп аталады. Бұл жағдайда ұстын бір мезгілде: осьтік сығылуға және иілуге жұмыс істейді. Бұл қимада кернеулердің біркелкі таралмауына әкеледі.

Соңғы жылдары темірбетон конструкцияларын жобалауда Eurocode еуропалық нормативтік жүйесі кеңінен қолданыла бастады. Бұл жүйе материалдардың жұмысын есептеуде неғұрлым егжей-тегжейлі есептеу модельдерін қолданумен ерекшеленеді.

Осы жұмыстың мақсаты жүктеме эксцентриситетінің темірбетон ұстындарының көтергіш қабілетіне әсерін зерттеу және есептеу нәтижелерін ҚНЖЕ және Eurocode 2 нормативтік құжаттары бойынша салыстыру болып табылады.

Орталықтан тыс сығылған элементтердің жұмыс істеуінің теориялық негіздері

Темірбетон элементінің жұмысы кернеу мен деформация арасындағы тәуелділік диаграммасымен анықталады [3].



1-сурет – Диаграмма «кернеу – деформация» (σ – ϵ) сығылған бетон үшін [1].

Зерттеулерге сәйкес бетон сығылу кезінде *сызықтық емес σ – ϵ диаграммасына* ие [4].

Бетон жұмысының негізгі кезеңдері:

- серпімді кезең;
- микрожарықшақтардың пайда болуы;
- пластикалық кезең;
- бұзылу.

Сығылған бетонның шекті деформациясы әдетте: $\epsilon_{cu} = 0,0035$ мәніне тең деп қабылданады [5,6].

Бұл диаграмма қиманың есептік моделін құру кезінде қолданылады.

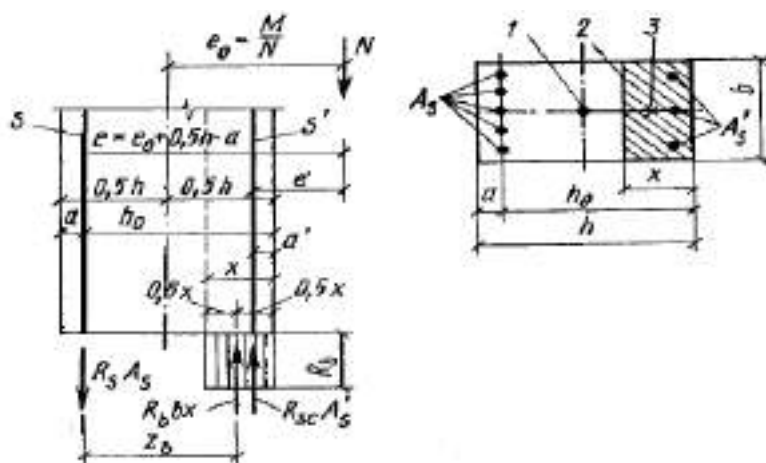
Егер бойлық күш эксцентриситет e арқылы әсер етсе, онда иілу моменті пайда болады:

$$M = N \cdot e,$$

мұндағы, N – бойлық күш; e – жүктеме эксцентриситеті.

Жүктеме қиманың ауырлық центрінен белгілі бір қашықтықта әсер еткен жағдайда элемент орталықтан тыс сығылу жағдайында жұмыс істейді. Мұндай жағдайда бойлық күш пен иілу моментінің бірлескен әсері нәтижесінде қимада кернеулер біркелкі таралмайды.

Ұстынның жұмысын талдау кезінде бойлық күш N пен иілу моментінің M өзара әрекеттесуі ескеріледі. Бұл жүктемелердің әртүрлі үйлесімдері қиманың көтергіш қабілетіне әсер етеді.



2-сурет – Орталықтан тыс сығылған темірбетон элементінің есептік схемасы.

Диаграмманың негізгі нүктелері:

- орталық сығылу $N = N_{max}$, $M = 0$;
- орталықтан тыс сығылу $N > 0$, $M > 0$;
- иілу $N = 0$.

Иілу моменті артқан сайын элемент қабылдай алатын бойлық күштің шамасы азаяды.

ҚНЖЕ бойынша есептеу салыстырмалы түрде қарапайым инженерлік әдістерге негізделген және ТМД елдерінің инженерлік тәжірибесінде ұзақ уақыт бойы қолданылып келеді.

Eurocode 2 материалдардың жұмысын есептеуде неғұрлым егжей-тегжейлі модельдерді қолданады. Алайда бұл нормативтік жүйе ТМД елдерінде салыстырмалы түрде жақында енгізіле бастаған және кейбір жағдайларда ұлттық жобалау талаптарына бейімдеуді қажет етеді.

Зерттеу нәтижелері

Жүктеме эксцентриситетінің әсерін талдау үшін көпқабатты ғимараттың қаңқасында қолданылатын тікбұрышты қималы темірбетон ұстын қарастырылады.

Есептеуде келесі материал сипаттамалары қабылданды:

- бетон класы B25 (C20/25),
- арматура класы А-III (B400).

Есептеу екі нормативтік жүйе бойынша орындалады:

- СП 63.13330 (ҚНЖЕ),
- EN 1992-1-1 (Eurocode 2).

Орталық сығылу кезінде ($e = 0$) алынған шекті бойлық күш мәндері бір-біріне жақын болды.

Есептеу нәтижелері бойынша:

- ҚНЖЕ бойынша шекті бойлық күш шамамен 1180 кН,
- Eurocode 2 бойынша шамамен 1200 кН болды.

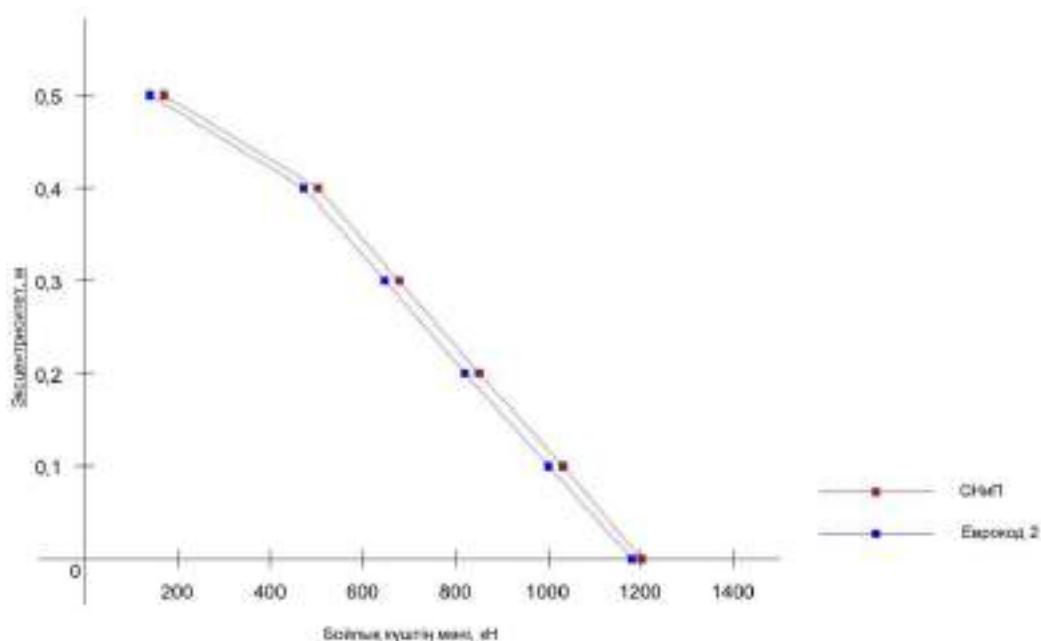
Эксцентриситет артқан сайын ұстынның көтергіштік қабілетінің төмендеуі байқалды.

Мысалы: $e = 0,1$ м кезінде

- ҚНЖЕ бойынша бойлық күш шамамен 1000 кН,
- Eurocode 2 бойынша 1030 кН болды.

Эксцентриситет 0,2 м болған кезде:

- ҚНЖЕ бойынша шамамен 820 кН,
- Eurocode 2 бойынша 850 кН мәндері алынды.



3-сурет – Жүктеме эксцентриситетінің ұстынның көтергіштік қабілетіне әсері (ҚНЖЕ және Eurocode 2 бойынша).

Бұл нәтижелер жүктеме эксцентриситетінің артуы ұстынның көтергіш қабілетінің біртіндеп төмендеуіне әкелетінін көрсетеді.

Қорытынды

Зерттеу нәтижелері жүктеме эксцентриситеті темірбетон ұстындарының жұмысына айтарлықтай әсер ететінін көрсетті.

Бойлық күштің әрекет ету сызығы қиманың ауырлық центрінен ауытқыған кезде қосымша иілу моменті пайда болады. Соның нәтижесінде қимада кернеулер біркелкі таралмайды: бетонның бір бөлігі сығылуға жұмыс істейді, ал қарама-қарсы аймақ созылу күйіне өтеді.

Бұл құбылыс сығылған бетон аймағының азаюына және арматураның рөлінің артуына әкеледі.

Екі нормативтік жүйе бойынша алынған нәтижелерді салыстыру айырмашылықтардың негізінен материалдардың есептік кедергілері мен сенімділік коэффициенттеріндегі ерекшеліктермен байланысты екенін көрсетті.

Әдебиеттер:

1. Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции. Общий курс. – М.: Стройиздат, 1991.
2. Баженов Ю.М. Железобетонные конструкции. – М.: АСВ, 2008.
3. СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения.
4. СНиП 2.03.01-84 Бетонные и железобетонные конструкции.
5. EN 1992-1-1 Eurocode 2: Design of Concrete Structures. – Brussels, 2004.
6. Beeby A., Narayanan R. Designers' Guide to Eurocode 2. – London: Thomas Telford, 2005.
7. Nilson A., Darwin D., Dolan C. Design of Concrete Structures. – New York: McGraw-Hill, 2010.
8. Park R., Paulay T. Reinforced Concrete Structures. – New York: Wiley, 1975.
9. MacGregor J.G., Wight J.K. Reinforced Concrete: Mechanics and Design. – Pearson Education, 2012.
10. Леонович С.Н., Плевков В.С. Расчет железобетонных конструкций. – М.: АСВ, 2014.

Серікбол Е., ВІМ тобы студенті, Қ.И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ
Құмар Б.К., т.ғ.д., қауымд.проф., Қ.И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ

БІРҚАБАТТЫ КЕҢІСТІКТІ АҒАШ КОНСТРУКЦИЯЛЫ ҒИМАРАТТАРДЫҢ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ, ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ЖӘНЕ СЕЙСМИКАЛЫҚ ТИІМДІЛІГІ

Халық шаруашылығында қаңқалы бірқабатты ағаш рамалы ғимараттар кеңінен қолданылуда. Жұмысымыздағы ағаш қаңқалы ғимараттың жобалау кеңістікті орналастыру ерекшелігінің жан-жақтылығы қарастырылған. Соның нәтижесінде экологиялық, экономикалық әрі энергетикалық тиімділікке ие бола отырып, ғимараттың сейсмикалық төзімділігі де артады.

Түйін сөздер: халықшаруашылық құрылыс нысандары, ағаш қаңқалы экологиялық табиғи материал, жартыарқалы рама.

В народном хозяйстве широко применяются каркасные одноэтажные здания с деревянным каркасом. В нашей работе рассматривается многосторонняя особенность пространственной планировки деревянного каркасного здания в проекте. В результате, обладая экологической, экономической и энергетической эффективностью, также повышается сейсмостойкость здания.

Ключевые слова: объекты строительства народного хозяйства, деревянный каркас, экологический природный материал, полуарочная рама.

Frame single-storey wooden frame buildings are widely used in the national economy. In this work, the versatility of spatial planning features of a wooden frame building in the project is considered. As a result, while achieving ecological, economic, and energy efficiency, the seismic resistance of the building also increases.

Keywords: national economic construction facilities, wooden frame ecological natural material, semi-arch frame.

Қай заманда да ағаштан жасалған құрылыс ғимараттар өз өзектілігін жоғалтқан емес.

Қазақстан аймақтарының біраз бөлігі сейсмикалық белсенді жерлерге орналасқандықтан жеңіл және серпімді ағаш құрылымдарының болашағы артады. Сейсмикалық аймақта құрылыс материалдарының салмағы үлкен маңыз атқарады. Сондықтан ағаш конструкцияларының жеңіл салмағы құрамында болатын инерциялық күшті азайтуға мүмкіндік береді.

Ағаш серпімді материал ретінде энергия күшін төмендетіп, динамикалық жүктемелерді тиімді таратып отырады. Оған осы біз қолданып отырған қаңқа рамаларын айқастыра біріктіру жүйесі мысал болады.

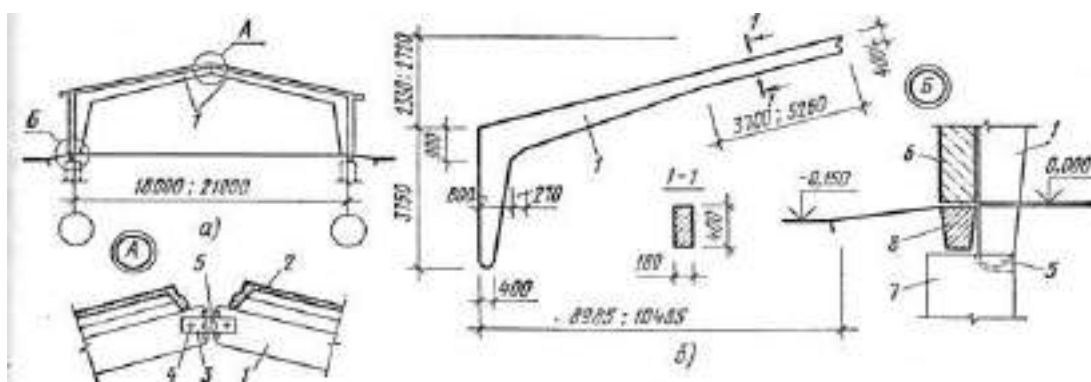
Еуропаның солтүстік елдерінде ағаш конструкциялы ғимараттардың сейсмикалық төзімділігі жақсы нәтиже көрсетіп, ағаш материалдарын серпімді пластикалық қасиеттерінің жоғары екенін көрсеткен.

Қазіргі замандағы жобалау жүйелерінде, әсіресе осы менің мамандығым ВІМ 3D үшін ағаш құралын конструкцияларды цифрлық модельдеуде болашағы зор.

1-суретте көрсетілгендей ағаш қаңқалы екі жартыарқадан жасалған кеңістікті ғимарат түрі халық шаруашылығында кеңінен қолданылады. Атап айтқанда өндіріс орындары мен ауыл шаруашылығының түрлі сақтау қоймаларында пайдаланылады. Сонымен қоса мал, құс шаруашылықтарында тиімді.

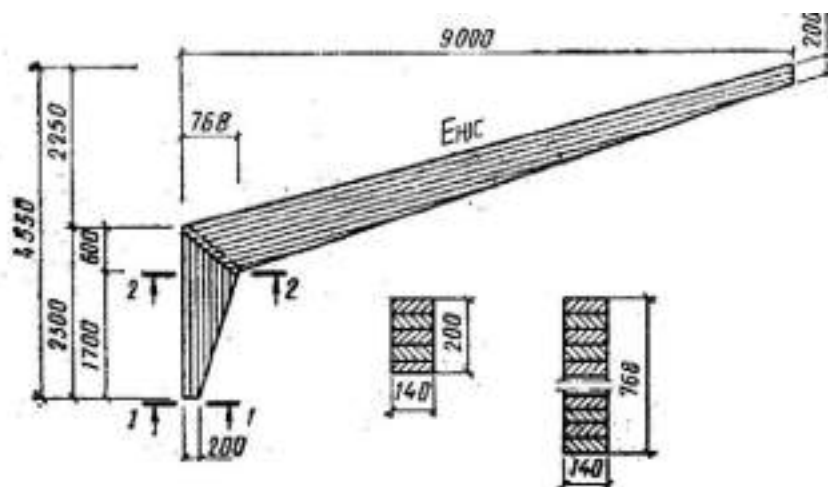


1-сурет – Ағаш қаңқалы екі жартыарқадан жасалған кеңістікті ғимарат.



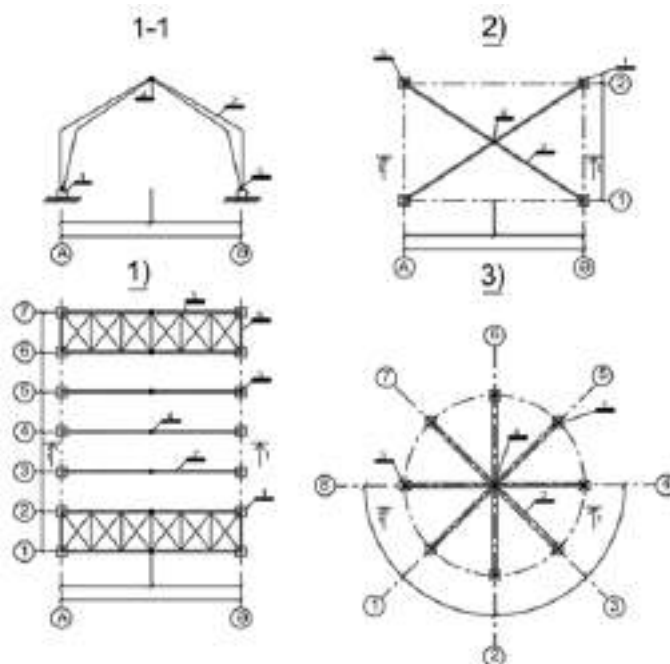
2-сурет– Екі жарты рамадан құрастырылған типтік жобадағы ғимараттың қаңқасы.

Екі жарты рамадан құрастырылған типтік жобадағы ғимараттың қаңқасы осылай тұрғызылады. Ал ағаш рамалардың құрылымы толық ағаштан немесе желімді тақтайлардан құрастырылса, көпшілік жағдайларда желімді фанер түрлерінде де қолданылып келеді. Желім фанерлі түріндегі жарты рамалыға мысал төмендегі 3-суретте көрсетілген.



3-сурет – Желім фанерлі түріндегі жарты рама

Төменде мақаламызға негіз болып отырған құрылымдық конструкция жобасына тоқталып өтейік.



4-сурет– Құрылымдық конструкция жобасы.

Мұндағы: 1) – жарты арқалы рама конструкциясының дәстүрлі типті түрі қарастырылған; 2) – осы жарты арқалы рама конструкциясын айқастыра орналастыру арқылы ғимарат қатаңдығын арттыру түрі; 3) – жоспарда шеңбер бағытында орналастыру жүйесі көрсетілген. Жобадағы 1-1 жарты арқалы раманың кескіні.

Осындағы ағаш конструкциялар ғимаратындағы бөлшектер: 1 – темірбетонды іргетас; 2 – жарты арқалы рама; 3 – жарты арқалы раманы іргетаспен қосу түрі; 4 – жарты арқалы рамаларды топсалы қосу түрі; 5 – дәстүрлі типтік жоспарда ғимарат қатаңдығын сақтауға арналған көлденең байланыстырғыштар; 6 – жарты арқалықты рамалар арасында орналасқан тіке қойылған байланыстырғыштар

1) – типтік жобада қаңқалардың қатаңдықтарын көлденең қойылған рама аралық жоғарғы белдеулік байланыстырғыштар – 5 және тіке тұрған байланыстырғыштар – 6 қамтамасыз етеді. Ал жарты рамаларда айқастыра біріктіру арқылы 2) – кеңістікті ғимаратта және жоспарда шеңбер бағытындағы 3) – орналастыру жүйесінде осы байланыстырғыштарсыз да қатаңдық деңгейі жоғарылайды. Сол себептен экономикалық тиімділікке ие боламыз және де сейсмикалық аймақтарда мұндай ғимараттар қатаңдық белсенділігін арттырады.

Ағаш конструкция аз қабатты құрылыстармен қоса, күрделі инженерлік нысандарға да жарамды екенін дәлелдейді. Оған шет елдерде, мысал ретінде Канада мемлекетіндегі CLT технологиясы арқылы 20 қабатқа дейін салынған ғимараттар, ал Солтүстік Еуропа жеріндегі оның ішінде Финляндия мен Швецияда ағаштан салынған көпқабатты ғимараттарды айта аламыз.

Осындай ағаш қаңқалы ғимаратты пайдаланудағы негізгі **қорытынды:**

Екі жартыарқалы раманы айқастыра біріктіру арқылы кеңістікті ғимараттың сейсмикалық қабілеті артады. Яғни ғимарат жоспарында сейсмикалық жүктемені қабылдау жолы қай жағынан болсын бірдей қатаңдықта болады;

Ағаш құралымды конструкциясын тұрғызып, салуға оның жеңіл болуына байланысты ғимараттың экономикалық тиімділігі жоғарылайды;

Табиғи ресурстық жағдайына орай ғимараттың жылу оқшаулау қасиетімен қоса экологиялық таза әрі энергиялық тиімді ғимарат ретінде өзектілігі артуда.

Әдебиеттер:

1. Кусаинов А.А., Байтурсунов Д.М., Инкарбеков Н.О. Мобильные металлобетонные сооружения многоцелевого назначения. – Алматы, 2006. – 356 с.
2. Абаканов М.С., Кумар Б.К., Чакеев С.У. Авторское свидетельство (А.С.№ 1325161, 1987, №27).
3. Байтурсунов Д.М., Джумағалиев Т.К., Шураева Г.Д. Металл конструкцияларын жинақтау. – Алматы, 2012. – 333 б.
4. Хамзин С.К. Үймереттер мен ғимараттарды тұрғызу технологиясы: Оқулық. – Астана, 2004.
5. Хопиалов Н.Ф. Запасы прочности // Строительная промышленность. – 1979. – №10.

УДК 624.1

Тлеугалиева С.И., Абибулла Қ.А., ст. гр. РПЗС-24-11** МОК (КазГАСА)

Ниятбай С.Е., Джумадилова С.Ж., ассоц. проф. МОК (КазГАСА)

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ ЗОЛЫ ТЭЦ

В данной статье выполнена сравнительная оценка прочностных характеристик грунтоцементных композитов с добавкой золы ТЭЦ, а также проанализировано влияние состава и доли добавки на прочность при сжатии.

Ключевые слова: вентилируемые фасады, энергетическая эффективность, теплоизоляция, гражданские здания, энергосбережение, надежность, долговечность, BIM-моделирование, строительные стандарты.

Ұсынылған мақалада ТЭЦ күлін қосу арқылы алынған грунтоцемент композиттерінің беріктік қасиеттеріне әсері қарастырылып, әртүрлі құрамдардың қысуға беріктігі бойынша салыстырмалы бағасы жүргізілген.

Түйін сөздер: желдетілетін қасбеттер, энергетикалық тиімділік, жылу оқшаулау, азаматтық ғимараттар, энергия үнемдеу, сенімділік, ұзақ мерзімділік, BIM модельдеу, құрылыс стандарттары.

This article represents a comparative assessment of the strength characteristics of soil–cement composites containing thermal power plant ash and analyzes how mixture composition and ash content affect compressive strength.

Keywords: ventilated façades, energy efficiency, thermal insulation, civil buildings, energy saving, reliability, durability, BIM modeling, construction standards.

Современная практика строительства всё чаще требует возведения зданий и сооружений на слабых и неустойчивых грунтах с пониженной несущей способностью и склонностью к деформациям. В таких условиях особое значение приобретает применение технологий укрепления оснований. Одним из наиболее эффективных и экономически целесообразных решений является использование добавок грунтоцементных материалов, которые позволяют существенно повысить прочностные характеристики и устойчивость грунтов. Использование золы позволяет улучшать физико-механические свойства материала, повышать устойчивость оснований и снижать вероятность дефор-

маций в сложных инженерно-геологических условиях, обеспечивая при этом технологически рациональные и экономически целесообразные решения [1] [11] [14]

Зола – несгорающий остаток, образующийся из минеральных примесей. Использование золы в производстве представляет экономичный и экологический способ ее утилизации, при этом усовершенствовав прочность композитов. В лабораторную и практическую часть исследования входит приготовление смеси, выдержка, проведение экспериментальных проверок и обработка данных полученных результатов. [4] [5] [9]

Практическая часть:

Подготовка образцов: образцы грунтоцементных смесей изготавливались в **кубических формах 100×100×100 мм**. Сухие компоненты (суглинок, цемент, зола ТЭЦ) предварительно дозировались по заданным соотношениям, перемешивались до однородности, затем постепенно добавлялась вода (**3,5–4,0 л**) с последующим перемешиванием.

Смесь укладывали в формы и уплотняли лёгкими ударами по стенкам формы для удаления воздушных включений. Формы выдерживали при комнатной температуре **24 часа**, после чего образцы извлекали и хранили во **влажных опилках** для предотвращения растрескивания и обеспечения равномерного высыхания. Срок выдерживания/сушки до испытаний – **14 суток**.

Всего изготовлено **18 образцов**: 3 состава по **6 образцов**.



Рисунок 1 – Процесс соединения компонентов.

Составы смесей:

1. **Вариант 1 (без добавки):** суглинок 80%, цемент 20%, 6 образцов.
 2. **Вариант 2 (зола ТЭЦ 2%):** суглинок 78,4%, зола 2%, цемент 19,6%, 6 образцов.
 3. **Вариант 3 (зола ТЭЦ 5%):** суглинок 76%, зола 5%, цемент 19%, 6 образцов.
- [1] [6] [11]

Таблица 1.1 – Соотношение использованных материалов в единицах измерения

№	Плотность, ρ , кг/м³	суглинок, кг	зола ТЭЦ, кг	цемент, кг	кол-во шт	Размер кубической формы, мм
1.	1548	8,64	-	2,16	6	100x100x100
2.	1548	8,467	0,216	2,117	6	100x100x100
3.	1548	8,208	0,540	2,052	6	100x100x100

Оборудование:

Испытания выполнялись на гидравлическом прессе Matest C055N. Для подготовки применялись лабораторные весы CAS MWP-150 с высоким классом точности; зола и грунт перед смешиванием просеивались через строительное сито с ячейками 2см.

Испытания:

После выдерживания образцы испытывались на **одноосное сжатие** на гидравлическом прессе. В процессе испытаний фиксировалась **максимальная нагрузка разрушения**, по которой определялись прочностные показатели. Далее выполнялся анализ влияния **содержания золы ТЭЦ (0%, 2%, 5%)** на прочность грунтоцементных композитов.



Рисунок 2 – Процесс сжатия образцов.

Далее были построены графики с учетом времени и нагружения, значения которых были взяты с гидравлического испытательного пресса.

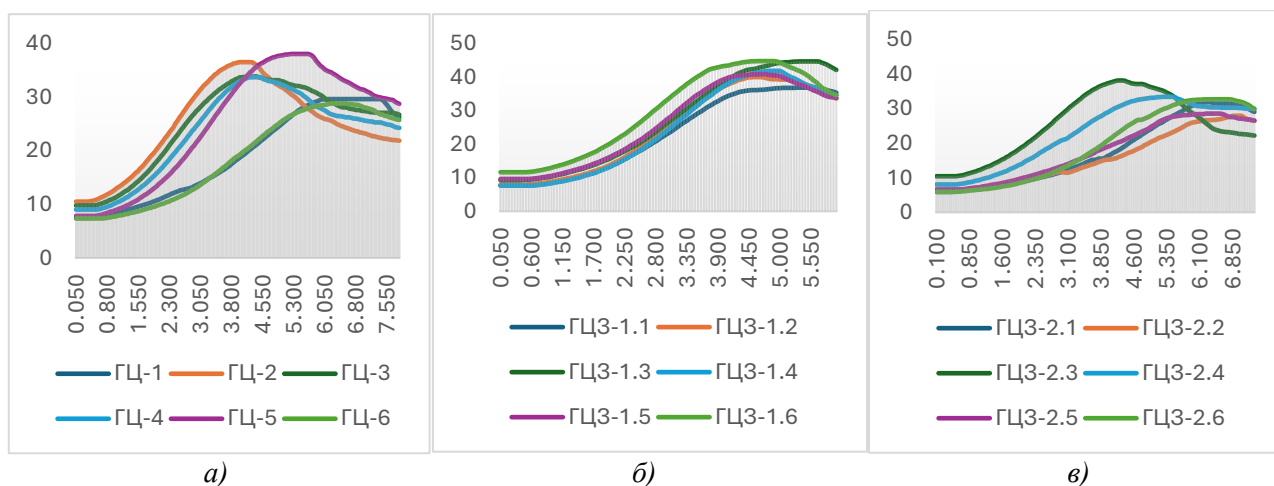


Рисунок 3 – График результатов нагружения композитов:
а) без добавок, б) с добавлением 2% золы, в) с добавлением 5% золы.

Для сопоставления полученных результатов использовались средние значения максимальных нагрузок для каждой серии образцов. На основании этих значений был построен график.

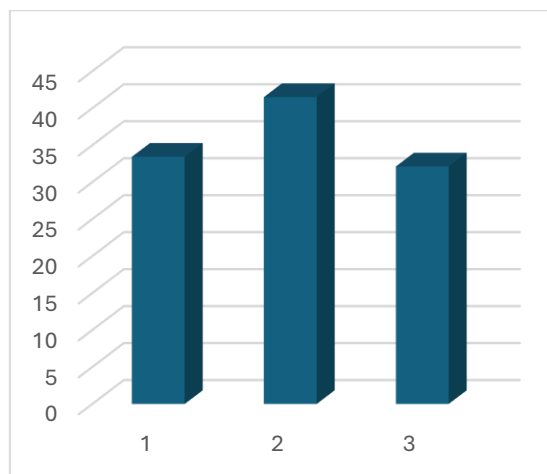


Рисунок 4 – График средних максимальных нагрузок образцов.

В рамках работы выполнено численное моделирование системы «фундамент–грунтовое основание» в программном комплексе **MIDAS GTS NX** с целью оценки осадок и перераспределения вертикальных напряжений. Расчёты проведены при нагрузке **LOAD = 1.0** (kN, m) для двух вариантов: без усиления и с применением грунтоцемента, модифицированного добавкой **2% золы ТЭЦ**. Основным критерием сравнения принята максимальная осадка фундамента.

Для варианта без усиления максимальная вертикальная осадка под подошвой фундамента составила $Tz_{\min} = -2.41 \cdot 10^{-2} \text{ м} \approx 24 \text{ мм}$, при локализации деформаций в приповерхностной зоне основания. В варианте с грунтоцементом (2% золы ТЭЦ) максимальные перемещения составили $U_{\max} = 1.21 \cdot 10^{-2} \text{ м} \approx 12.12 \text{ мм}$, что почти вдвое меньше по сравнению с исходным вариантом. [11] [15]

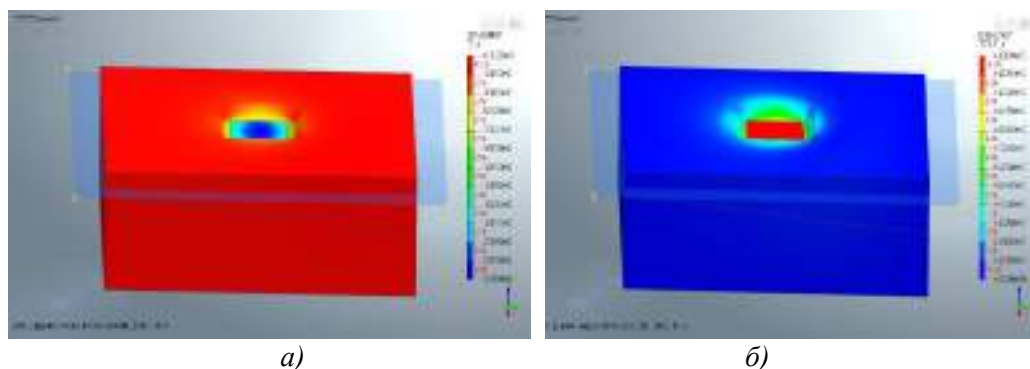


Рисунок 5 – Поле вертикальных перемещений (осадки):
а) без добавок, б) с 2% золы ЭЦ.

Таким образом, применение грунтоцемента с добавлением 2% золы ТЭЦ снижает осадку основания на 49,5%, подтверждая эффективность данного решения для повышения жёсткости и устойчивости системы «фундамент–основание». [1] [2] [11]

Вывод

В ходе выполненной работы проведён обзор современных способов укрепления слабых грунтов и обоснована целесообразность применения грунтоцементных композитов. Экспериментально исследованы составы грунтоцемента с различным содержа-

нием золы ТЭЦ (0%, 2% и 5%): по принятой методике изготовлено 18 образцов в виде кубов 100×100×100 мм, обеспечены однородность смесей и одинаковые условия выдерживания/сушки, после чего выполнены испытания на одноосное сжатие на гидравлическом прессе с определением максимальной нагрузки и соответствующего напряжения разрушения. Установлено, что добавление золы ТЭЦ в количестве 2% обеспечивает наилучший результат: средняя максимальная нагрузка составила 41,50, что на 24,13% выше грунтоцемента без добавок. При содержании золы 5% улучшение прочности не наблюдается: средняя максимальная нагрузка составила 32,12, что на 3,94% ниже состава без добавок, что подтверждает наличие оптимальной дозировки и снижение эффективности при её увеличении. Численное моделирование в MIDAS GTS NX дополнительно подтвердило снижение деформаций: максимальная осадка уменьшилась с ≈24 мм до ≈12,12 мм, то есть на 49,5%, что согласуется с экспериментальной тенденцией о преимуществе состава с 2% золы ТЭЦ. Применение золы ТЭЦ в составе грунтоцементных композитов также экологически оправдано, поскольку способствует вовлечению техногенного отхода во вторичное использование, снижает объёмы складирования на золоотвалах и тем самым уменьшает негативное воздействие на окружающую среду, одновременно повышая ресурсную эффективность технологии.

Литература:

1. Ahmad, S., Shah Alam Ghazi, M., Syed, M., & Al-Osta, M. A. (2024). Utilization of fly ash with and without secondary additives for stabilizing expansive soils: A review. In *Results in Engineering* (Vol. 22). <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102079>
2. Doğruyol, M., Gönül, A., Tunçel, O., Altun, B., Yılmaz, A., Durmaz, M., & Hansu, F. (2025). Integrated assessment of mechanical, microstructural, and thermal behaviour of a fly ash-stabilized earthen building material. *Journal of Building Engineering*, 113, 113871. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2025.113871>
3. Fang, K., Lin, Z., Wang, Q., Hao, J., Zhuang, S., & Zhou, Y. (2025). Magnesium slag-fly ash-cement binders for flowable solidified soil: Hydration behavior, rheological control and strength performance. *Journal of Building Engineering*, 112, 113987. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2025.113987>
4. Gao, X., Xie, W., Yuan, K., & Liu, Q. (2026). Mechanical properties and microstructural evolution of fly ash stabilized loess: Insights from multiscale analysis and environmental impacts. *Environmental Technology & Innovation*, 41, 104729. <https://doi.org/10.1016/J.ETI.2025.104729>
5. Hao, H., Liu, X., Dong, X., Liu, Y., Li, J., Li, J., Xu, X., & Chang, S. (2025). Study on the solidification/stabilization of Cu(II) and Cd(II)-contaminated soil by fly ash-red mud based geopolymers. *Construction and Building Materials*, 469. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.140515>
6. Huang, K., Xu, G., Yan, C., Zhang, X., Li, D., Cai, G., Sun, Y., Chen, R., Pu, S., & Shi, X. (2025). Study on the optimization and performance of expansive soil stabilized by alkali-activated fly ash-phosphogypsum using response surface methodology. *Journal of Building Engineering*, 113, 114032. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2025.114032>
7. Jia, J., Lu, X., Zhu, J., Wang, J., Zhang, L., & Cheng, X. (2024). Effect of ionic soil stabilizer on the properties of lime and fly ash stabilized iron tailings as pavement base. *Construction and Building Materials*, 450. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.138558>
8. Jia, R., & Chu, Z. (2025). Triaxial mechanical properties and microstructure of Tianjin clay stabilized with fly ash-based geopolymer. *Soils and Foundations*, 65(6), 101687. <https://doi.org/10.1016/J.SANF.2025.101687>
9. Lal Mohammadi, E., Khaksar Najafi, E., Zanganeh Ranjbar, P., Payan, M., Jamshidi Chenari, R., & Fatahi, B. (2023). Recycling industrial alkaline solutions for soil stabilization by low-concentrated fly ash-based alkali cements. *Construction and Building Materials*, 393, 132083. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2023.132083>
10. Luo, B., Su, Y., Ding, X., Chen, Y., & Liu, C. (2025). Modulation of initial CaO/Al₂O₃ and SiO₂/Al₂O₃ ratios on the properties of slag/fly ash-based geopolymer stabilized clay: Synergistic effects and stabilization mechanism. *Materials Today Communications*, 47, 113295. <https://doi.org/10.1016/J.MTCOMM.2025.113295>

11. Noaman, M. F., Haq, M., Khan, M. A., Ali, K., & Kamyab, H. (2024). Geotechnical and microstructural analysis of high-volume fly ash stabilized clayey soil and machine learning application. *Case Studies in Construction Materials*, 21. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03628>
12. Noaman, M. F., Haq, M., Khan, M. A., Ali, K., & Kamyab, H. (2025). Corrigendum to “Geotechnical and microstructural analysis of high-volume fly ash stabilized clayey soil and machine learning application” *Case Stud. Constr. Mater.*, Vol. 21 (2024) e03628. In *Case Studies in Construction Materials* (Vol. 23). <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e04977>
13. Shrestha, S., & Kolay, P. K. (2026). Strength, durability and microstructural properties of fly ash-ground granulated blast furnace slag based geopolymer stabilized high plastic clay. *Transportation Geotechnics*, 56, 101770. <https://doi.org/10.1016/J.TRGEO.2025.101770>
14. Utkarsh, & Kumar Jain, P. (2025). From pozzolans to polymers: Hybrid stabilization of expansive soils using fly ash, lime, and EPS beads. *Construction and Building Materials*, 493, 143279. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2025.143279>
15. MIDAS Information Technology Co., Ltd. (2018). *GTS NX On-line Manual* (Program Version: GTS NX 2018 (v1.1); Revision No.: v1.2; Revision Date: January 2018). Retrieved April 14, 2026, from https://manual.midasuser.com/en_common/GTS%20NX/290/GTX.htm

ӨОЖ 625.42:624.042.4

Төлепберген Х.А., Муратова А.Т., ПЗС-21 тобы студенттері,
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті (ЕҰУ)
Турашев А.С., т.ғ.к., Ph.D, қауымдастырылған профессор,
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті (ЕҰУ)

ЖЕҢІЛ РЕЛЬСТІ КӨЛІК АШЫҚ ПЛАТФОРМАЛАРЫН ҚАР ЖҮКТЕМЕСІНЕН ҚОРҒАУ: ЗАМАНАУИ ЖӘНЕ ПЕРСПЕКТИВАЛЫ ӘДІСТЕР

Мақалада Астана қаласы мысалында солтүстік ендіктерде жеңіл рельстік көліктің (LRT) жерүсті желілерін пайдаланудың өзекті мәселелері қаралады. Басты назар эстакада үстіне орналасқан платформалар мен рельстердің ашық учаскелеріне түсетін қалың қар жүктемесін азайту үшін қолданыстағы инженерлік шешімдер мен эксперименттік технологиялар қарастырылады.

Түйін сөздер: жеңіл рельсті көлік (ЖРТ), жерүсті эстакадасы, қар жүктемесі, солтүстік климатта көлік нысандарын пайдалану, конструкциялардың мұздануы, жолаушылар қауіпсіздігі, мұзда-нуға қарсы жүйелер; инженерлік жүйелерді автоматтандыру; энергия тиімділігі.

В статье рассматриваются актуальные вопросы использования наземных линий легкорельсового транспорта (LRT) в северных широтах на примере города Астаны. Особое внимание уделяется существующим инженерным решениям и экспериментальным технологиям для снижения нагрузки на снежные заносы открытых участков платформ и рельсов, расположенных над эстакадой.

Ключевые слова: лёгкий рельсовый транспорт (LRT), наземная эстакада, снеговые нагрузки, эксплуатация транспортных сооружений в северных климатических условиях, обледенение конструкций; безопасность пассажиров, противообледенительные системы, автоматизация инженерных систем; энергоэффективность.

The article discusses topical issues of the use of surface light rail lines (LRT) on the example of the city of Astana in the northern latitudes. Attention is paid to existing engineering solutions and experimental technologies to reduce the load on snow drifts of open areas of platforms and rails located above the overpass.

Key words: light rail transport (LRT), ground trestle, snow loads, operation of transport structures in northern climatic conditions, icing of structures, passenger safety, anti-icing systems, automation of engineering systems, energy efficiency.

Қазіргі таңда қала транспорттық инфрақұрылымның қарқынды дамуы сонымен қатар күрделенуі оған жеңіл рельсті көлік секілді заманауи транспорт түрлерін енгізуді талап етеді.

Жеңіл рельсті көлік (ЖРК) – жеке бөлінген жолдар бойынша жолаушыларды тұрақты түрде әлеуметтік маңызы бар тасымалдауды жүзеге асыратын, метрополитен мен темір жол көлігіне қарағанда габариттерінің, жүк көтергіштігінің және қатынас жылдамдығының салыстырмалы түрде аздығымен сипатталатын қалалық рельсті көлік түрі [1].

Суық климатты аймақтар, соның ішінде Астана қаласы үшін ЖРК эксплуатациясы бірнеше техникалық мәселелерді шешуді талап етеді, қар жамылғысы және оны тазалау өзекті мәселелердің бірі болып табылады [2]. Қар үйіндісі мен мұз қабатының түзілуі рельстің ұтымды жұмыс жасауына кедергі болады; жолаушылар қауіпсіздігінің төмендеуіне, олардың уақыт шығынына, бір сөзбен әлеуметтік қолайсыздыққа әкеледі.

Осы мәселеге байланысты инфрақұрылымды қар жамылғысынан тазарту энерготиімді шешімдерді талап етіп, өзекті тақырыпқа айналып отыр.

Мақаланың мақсаты – платформалар мен рельстерді қардан қорғаудың заманауи және эксперименттік әдістеріне шолу жасай отырып, перспективалы инновациялық технологияларды Астана қаласының климаттық ерекшеліктерін ескере отырып, ЖРК эстакадаларын қар үйіндісінен тазартудың тиімді тәсілдерін ұсыну.

Жеңіл рельсті көлік әлемдік деңгейде кеңінен таралған – соңғы 15 жыл ішінде әлемде шамамен 80 ЖРК жүйесі салынды, ал қазіргі уақытта тағы 100-ге жуық жүйе жобалау және құрылыс кезеңінде [3].

Зерттеу жұмысының тақырыбына байланысты климаты қатал, қысы суық аймақтардағы заманауи рельсті жүйені қардан тазалау тәжірибесін саралау өте маңызды.

Эдмонтон ЖРК-сі 70 км/сағ жылдамдықпен жүреді [4]. Магистральдық желілердегі барлық бағыттамалық бұрмалар электр жылытқыштармен жабдықталған. Қарды сыпыру үшін роторлы щетка, рельсте су жиналуының алдын алуға дренажды су ағар жүйесі қолданылады. Елді мекенде қардың жел арқылы үйіліп, нығыздалуы әсерінен болған бірнеше апаттық жағдайлар тіркелген. Рельс жиегіндегі ойыққа, рельстердің қиылысатын жерінде қардың үйілуі – пойыз дөңгелектерінің сырғып, қозғалмалы құрамның жолдан шығуының себебі болды. Осы мәселені шешуде адам көмегін қажет ететін ауа үрлегіш құрылғы пайдаланылады. Ыстық ауамен қыздыратын жылытқыштарды қолданған кезде, бағыттауыш бұрмалар аймағында қар мен мұздың қатуына әкелді, сондықтан мәжбүрлі ыстық ауа үрлеу әдісінен бас тартып, «ауа пердесі» (air curtain) типті үрлегіштерге алмастыруға тура келді. Бұл әдістің энергия шығыны азырақ, жер төсемі мен жолдың тегістігіне (выправка) топырақтың мұздап ісінуінен (пучение) келетін зақым деңгейі төмен және құрылымды қардан таза ұстауда әлдеқайда тиімдірек болып шықты.

Тампере ЖРК-сі 50 км/сағ жылдамдықпен жүреді [5]. Бағыттауыш бұрмаларды қардан механикалық тәсілмен және қол құралдары көмегімен тазалайды. Рельстік жүйені қардан тазалау көлік қозғалысы бәсеңдеген уақытта орындалады. Рельс ойықтарын тазалау құрылғысы екі айналмалы болат щеткалардан, нығыздалған қарды қырғыштан, науалық сыналардан тұрады. Науалық сына тазалағыш технологиясы, рельс ойығына ену арқылы мұз бен қардың нығыздалу қауіпінің алдын алады. Щеткалар мен науа сыналарының арасында мұз қырғыш орналасқан, ол қозғалыс кезінде рельстердің арасындағы қарды, мұзды және қоқысты тазалайды. Мұз қырғыш қозғалыс бағытына қиғаш орнатылған, сондықтан жер бетіне үлкен қысым түсірмейді. Елде жол тұзының баламасы ретінде құмырсқа қышқылының тұзы – калий формиаты қолданылады.

Чанчунь ЖРК-сі үшін 70 км/сағ әдеттегі пайдалану жылдамдығы [6]. Рельсті қар жамылғысынан тазалау үшін -40°C температурада да жұмыс жасайтын қар тазалаушы машиналар қолданылады. Сенсорлы детекторлар пойыз қозғалысы үшін қауіпті қар үйіндісін анықтаған сәтте қар тазарту техникасы тез арада жөнелтіледі. Қар тазалау машинасы сағатына 8000 шаршы метрге дейін қарды тазалауға қабілетті. Мұздануға қарсы лазерлік құрылғы аялдама жапшасындағы (навес) мұзды ерітуімен қатар, мұз қатып қалған мырышталған суағар құбырларын қыздыруға, құбыр ішіндегі мұзды ерітуге және оның қайта мұздануын болдырмауға мүмкіндік береді.

Санкт Петербург ЖРК жүйесі. орташа пайдалану жылдамдығы шамамен 20-25 км/сағ құрайды, ең жоғары жылдамдық 60-70 км/сағ жетеді. Пойыз қозғалысына кедергі әкелетін суық күндерде автоматтандырылған бағыттауыш бұрмалардағы электр жылытқыштар іске қосылады. Тар бөліктерді қардан тазарту үшін рельс сапасына зиян тигізбейтін қарды ауа ағынымен тазалайтын вагондар қолданылады. Вагондар желілік қозғалыс арасындағы үзілістерде, сағат 01:00-ден 06:00-ге дейін жұмыс істейді.

Астана ЖРК-сі Қатал климатқа қарамастан Астана қаласы ЖРК жобасының иегері. Пойыз жүретін эстакадалық жолдың ұзындығы 21,37 шақырым ал оны көтеретін тіректердің биіктігі жер бедеріне байланысты 5-18 м аралығында. Жылжымалы құрам ретінде Қытайдың «CRRC Tangshan» вагон жасау компаниясы шығарған «TRI-TON» маркалы төрт секциялы пилотсыз пойыздар алынды. Эксплуатацияға берілуге әзірленіп жатқан пойыз жылдамдығы сынақ барысында 80км/сағ жетті. Пойыз оңтүстік-шығыстан солтүстік бағытта және кері шығыс бағытта жүреді. Жоғарыда атап өтілген қар және жел жүктемелерінің бір мезетте әсер етуі ЖРК эстакадасында қар үйіндісін тудырады, тиісінше бұл мәселе пойыздың еркін қозғалуына кедергі жасайды және толық автоматтандырылғандықтан көлік сенсорлары қар үйіндісін «кедергі» деп қабылдап, шұғыл тоқтауды орындауы мүмкін.

Астаналық ЖРК кешенінде рельстегі қар жамылғысынан тазарту үшін электрмен жылыту жүйесімен жабдықталған, ал ерітілген қар ішкі су ағар арқылы эстакада тіректеріне бекітілген құбыр арқылы сыртқа ағылады деп есептелген. Алайда биыл қалада жауған қар бұл әдісті жетілдіру қажеттілігін көрсетті. Эстакадалық жолды қардан қол жұмысы арқылы тазарту рельс үшін механикалық зақым әкеледі және жерүсті көлік жолы үшін келеңсіздіктер тудырады, сонымен қатар бұл тәсіл экономикалық жағынан тиімсіз (1-сурет).

Сондықтан платформаларды қардан қорғаудың тексерілген әдістерімен қатар, эксперименттік және перспективалық әдістерін Астана қаласы үшін тиімді әдісін қолдану ғылыми зерттеулерді қажет етеді. Платформаларды қардан қорғаудың тексерілген әдістері 1-кестеде көрсетілген.



1-сурет – Астанадағы ЖРК платформасындағы қарды қолмен тазарту.

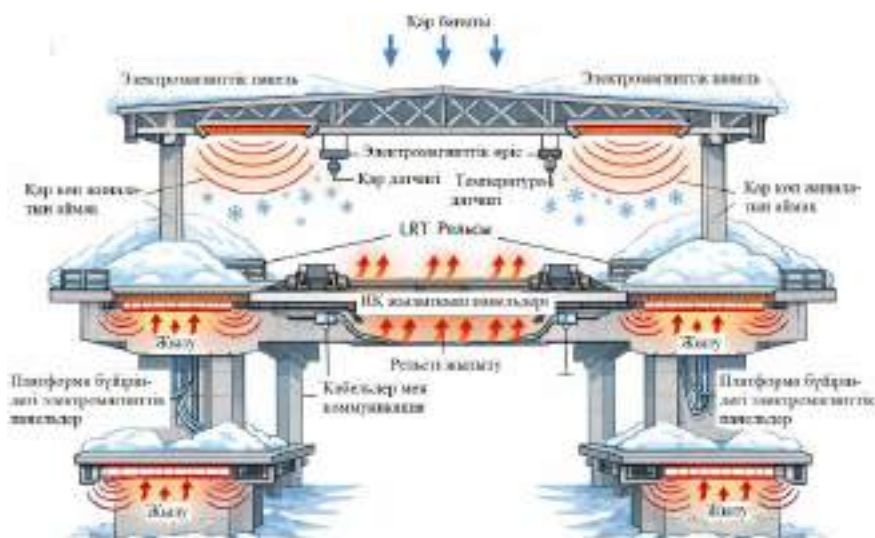
1-кесте – Платформаларды қардан қорғаудың тексерілген әдістері

Р/н	Әдіс түрлері	Қолданылатын материалдар, құрылғылар, әдістер, қолдану аясы	Артықшылықтары:	Кемшіліктері
1	Гидрофобты жабындар	Супер-гидрофобты құрамдар платформаның бетон немесе металл бетіндегі қар мен мұздың жабысуын болдырмайды.	Пайдалану құны аздығы, ұзақ мерзімге жарамдылығы	Жабынды үстін мезгіл-мезгіл жаңарту қажеттілігі
2	Электрмен жылыту	Платформаның бетіндегі кәбілдер немесе төсеніштер қар мен мұздың еруі үшін жеткілікті температураға дейін қыздырылады. Автоматты қосу үшін температура мен жауын-шашын датчиктерімен біріктіріледі	Жоғары сапалы қар тазалау мүмкіндігі	Электр энергиясын үнемдеу қажеттілігі
3	Еңкіш тақталар, оларды дірілдету	Дірілдету механизмдері орнатылған еністі платформалар тақтасы қарды өздігінен сырғытуға мүмкіндік береді.	Ең аз пайдалану шығындары	Қар жамылғысы қалыңдығына, ылғалдылығына тәуелділігі
4	Ауа перделері	Ауа ағыны платформалардағы қарды үрлейді. Қалқасыз ашық станцияларда қолданылады	Жылу жайлылығы, сыртқы ортадан қорғау	Шу, шектеулі тиімділік, қызмет көрсету қымбаттылығы
5	Датчиктер бойынша автоматтандыру	Ылғалдылық, температура және жауын-шашын жылдамдығы датчиктері тек қажет болған жағдайда ғана жылытуды, ауа шымылдығын немесе дірілді қосады	Энергияны үнемдеу және жолаушылардың қауіпсіздігін арттыру	Киберқауіпсіздік, жоғары талаптар, инфрақұрылымның осалдығы

Қазіргі таңда платформаларды қардан тазартудың келесі эксперименттік және перспективалық әдістері ұсынылып отыр, олар: микротолқындар – ауадағы қар бүршіктерін қыздыру; электромагниттік өрістер/иондау – қар бүршіктерінің құрылымын өзгертеді; электростатикалық өрістер – қар бүршіктерін итереді; аэрогельді супер-гидрофобты жабындар – аса гидрофобты бет; ИҚ (ИК) «қалқандар» – аса гидрофобты бет. Бұл әдістердің айтарлықтай кемшіліктері бар.

Жоғарыда көрсетілген әдістерге сәйкес, олар: оқшаулауды және экрандауды талап етеді; зертханалық зерттеулер кезінде электроникаға әсер ету; төмен вольтты нұсқалар жолаушылар үшін қауіпсіз; материалдың қымбаттылығы, тек жергілікті (локально) қолдану; бағыттағы панельдердің тарлығы, төмен қарқындылық, автоматты қосу қиындығы.

Қорытындылай келе, Астананың климаттық жағдайын ескере отырып эстакаданың шетіне доға тәріздес панельдерді орнату ұсынылады. Бұндай аэродинамикалық форма жел жылдамдығын ұтымды пайдалануға, жел ағынын дұрыс бағыттап, қар үйіндісін болдырмауға себебін тигізеді. Сонымен қатар, жүйенің үздіксіз әрі қауіпсіз жұмыс жасауы үшін әлемдік тәжірибені саралай отыра келесі инновациялық, техникалық шешімдер ұсынылады. 1) Чанчунь қаласындағы ЖРК жүйесінде қолданылатын мұз еріткіш лазерлік құрылғыны су ағар жүйесіне яғни металл құбырды қыздыру үшін пайдалануға болады. 2) Финляндиялық тәжірибе бойынша калий формиатын қолдану темірбетон конструкциясы үшін тиімді шешім. 3) Инфрақызыл қыздыру (IR) + Электромагниттік панельдер – Жүйелердің аралас жұмысы. IR-жылыту – жер бетінде, ЭМ-панельдер ауада жұмыс істейді, олардың аралас жұмысы мұздың пайда болуын, энергия тұтыну және тазалау шығынын төмендетуге мүмкіндік береді. 2-суретте ChatGPT ұсынған ЖРК жолын қардан қорғау схемасы келтірілген.



2-сурет– ChatGPT ұсынған ЖРК жолын қардан қорғау схемасы.

Әдебиеттер:

1. Вучик В.Р. Городской пассажирский транспорт: теория и практика. – М.: Транспорт, 2011. – 576 с.
2. СП РК 2.04-01-2017 «Строительная климатология». – Астана, 2017.
3. International Association of Public Transport. Light Rail Statistics Report. – Brussels, 2022.
4. Edmonton Transit Service. LRT Winter Operations Report. – Edmonton, 2020.
5. Tampere Tramway Ltd. Winter Maintenance Technologies. – Tampere, 2021
6. CRRC Corporation Limited. Cold Climate Rail Solutions. – Beijing, 2019.

ӘОЖ 624.04:620.91

Шакирова А., ХБК (ҚазБСҚА) РПЗС-24-3 тобы студенті
Слямбаева А., т.ғ.к., ХБК (ҚазБСҚА) қауымд. проф.

ҒИМАРАТ ҚАСБЕТТЕРІНЕ АРНАЛҒАН ГИБРИДТІ АЭРОДИНАМИКАЛЫҚ КҮН ПАНЕЛЬДЕРІ: ҚАЛАЛЫҚ ВЕРТИКАЛЬДІ ЭНЕРГИЯ ФЕРМАСЫНЫҢ ИННОВАЦИЯЛЫҚ МОДЕЛІ

Мақалада биік ғимараттардың қасбеттерінде қолданылатын энергия тиімді инновациялық модель қарастырылады. Күн панельдерінің дәстүрлі статикалық орналасуын аэродинамикалық адаптивті жүйемен алмастырудың инженерлік негіздемесі ұсынылған. Гибридті технологияның ғимарат конструкциясына түсетін жел жүктемесін азайту және энергия өндіру тиімділігін арттыру мүмкіндіктеріне талдау жасалған.

Түйін сөздер: аэродинамикалық профиль, гибридті күн панельдері, ішкі күш факторлары, пьезоэлектрлік эффект, энергия тиімділігі, биік қабатты ғимараттар, Вентури эффектісі.

В статье рассматривается инновационная энергоэффективная модель для фасадов высотных зданий. Представлено инженерное обоснование замены традиционного статического расположения солнечных панелей на аэродинамическую адаптивную систему. Проведен анализ возможностей гибридной технологии по снижению ветровой нагрузки на конструкцию здания и повышению эффективности выработки энергии.

Ключевые слова: аэродинамический профиль, гибридные солнечные панели, внутренние силовые факторы, пьезоэлектрический эффект, энергоэффективность, высотные здания, эффект Вентури.

The article examines an innovative energy-efficient model for high-rise building facades. An engineering justification for replacing the traditional static arrangement of solar panels with an aerodynamic adaptive system is presented. The potential of hybrid technology to reduce wind loads on the structural framework and increase energy production efficiency is analyzed. The study emphasizes the role of the Venturi effect in passive cooling of photovoltaic elements and the integration of piezoelectric components for continuous power generation.

Keywords: aerodynamic profile, hybrid solar panels, internal force factors, piezoelectric effect, energy efficiency, high-rise buildings, Venturi effect.

2024-2025 жылдардағы жаһандық энергетикалық мониторинг деректері бойынша, әлемдік энергия тұтынудың 40%-ы құрылыс секторына тиесілі. Зерттеу нысаны ретінде Алматы қаласы алынды. 2023-2024 жылғы қысқы маусымда Алматы қаласының ауа сапасы индексі бірнеше рет қауіпті деңгейге 200-ден жоғары жетті. Бұл қалалық ғимараттардың энергия тиімділігін арттыру мәселесін жеделдету қажеттілігін дәлелдейді. 2024 жылғы экологиялық есептерге сәйкес, қаланың тау бөктеріндегі қазаншұңқырда орналасуы атмосфераның төменгі қабаттарында тұмшаның тұрақты жиналуына әкелді. Биік қабатты ғимараттарда шатыр ауданы шектеулі – ол жалпы қасбет ауданының тек 3-5%-ын ғана құрайды.

Алайда, қасбетке күн панельдерін орнату кезінде инженерлер екі үлкен мәселеге тап болады: 150 метр биіктіктегі желдің қысымы $150\text{--}200\text{ кг/м}^2$ -ге жетеді және панельдердің 80°C -қа дейін қызуы олардың ПӘК-ін 30%-ға төмендетеді. Осы мәселелерді шешу үшін біз «аэродинамикалық қанат» принципіне негізделген гибриді жүйені ұсынамыз (1-сурет).



1-сурет – Гибриді күн панелінің аэродинамикалық профилі мен ұшақ қанатының салыстырмалы схемасы (NASA Airfoil аналогиясы).

Ғимаратқа интеграцияланған фотоэлектрлік жүйелер (BIPV – Building-Integrated Photovoltaics) тұжырымдамасы қазіргі заманғы сәулет өнеріндегі «Энергиясы нөлдік ғимараттар» стандартына қол жеткізудің іргелі негізі болып табылады. Дәстүрлі күн панельдерінен айырмашылығы, BIPV жүйелері ғимараттың сыртқы қабығының қасбетінің ажырамас бөлігі ретінде қызмет етеді.

Зерттеудің теориялық моделі ретінде аэродинамикалық бейімделу принципі таңдалды. Биік қабатты ғимараттарда 100 метрден жоғары желдің жылдамдығы мен қысымы экспоненциалды түрде артатындықтан, панельдердің пішінін есептеуде Бернулли теңдеуі негізгі индикатор ретінде алынды [1]:

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \text{const}, \quad (1)$$

мұндағы v – жел ағынының жылдамдығы, ρ – ауа тығыздығы.

Теңдеуге сәйкес, панельдің жоғарғы және төменгі жағындағы ауа жылдамдығының айырмашылығы арқылы біз конструкцияға түсетін статикалық қысымды төмендетеміз. NASA (National Advisory Committee for Aeronautics) аэродинамикалық профильдерін қолдану панельдің беткі қабатындағы ауа ағынын ламинарлы қалыпта сақтауға мүмкіндік береді, бұл «аэродинамикалық кедергі» коэффициентін 40-50%-ға дейін азайтудың теориялық алғышарты болып табылады.

Сонымен қатар, модельдеу барысында Вентури эффектісі ерекше рөл атқарады. Панель мен ғимарат қабырғасы арасындағы технологиялық саңылау (диффузор) ауа ағынын жылдамдатып, фотоэлектрлік элементтердің пассивті конвективті салқындатылуын қамтамасыз етеді. Теориялық есептеулер бойынша, панель температурасын 10°C-қа төмендету оның пайдалы әсер коэффициентін (ПӘК) 4,5-5%-ға арттыруға мүмкіндік береді [2].

Жүйенің тағы бір теориялық негізі – пьезоэлектрлік генерация теориясы. Желдің динамикалық пульсациясы нәтижесінде туындайтын механикалық тербелістер (вибрация) пьезоэлементтер арқылы қосымша электр зарядына түрленеді. Тербеліс энергиясының жинақталу процесі келесі тәуелділікпен сипатталады [1]:

$$W = \int F(t) \cdot dx. \quad (2)$$

Бұл күн сәулесі жеткіліксіз уақытта түнде немесе тұманды күндері жүйенің үздіксіз жұмыс істеуін қамтамасыз ететін гибриді модельдің тұрақтылығын негіздейді. Осылайша, ұсынылған модель тек энергия көзі ғана емес, сонымен қатар ғимараттың аэродинамикалық жүктемесін реттейтін ақылды инженерлік жүйе болып табылады [3].

Профильдің есептік параметрлері. Зерттеу барысында қолданылатын гибриді панельдің аэродинамикалық сипаттамаларын негіздеу үшін NASA-4412 сериялы профиль параметрлері негізге алынды [4].

Параметр атауы	Белгіленуі/ Бірлігі	Мәні	Инженерлік маңызы
Салыстырмалы қалыңдық	t/c	12%	Конструкцияның беріктігін сақтау
Максималды қисықтық	f/c	4%	Төмен жылдамдықты желді игеру
Көтеруші күш коэфф.	$C_L(\text{max})$	1.55	Жел қысымын бағыттау
Кедергі коэфф.	$C_D(\text{min})$	0.008	Қабырғаға түсетін күшті азайту
Оңтайлы шабуыл бұрышы	$\alpha(\text{градус})$	5° – 10°	Күн мен жел ағынын синхрондау

Конструкциялық шешімдер және инженерлік есептеу негіздері

Жүйенің конструктивтік схемасы мен материалдары. Инновациялық гибриді панельдерді ғимарат қасбетіне орнату көпқабатты жүйе принципі бойынша жүзеге асырылады [4,5]. Конструкцияның статикалық және динамикалық тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін келесі инженерлік схема ұсынылады:

1. Негізгі қабырға: Ғимараттың темірбетон немесе кірпіш қаңқасы.

2. Металл кронштейндер (бекіткіштер): Анкерлік жүйе арқылы ғимаратқа бекітіледі.
3. Алюминий тірек каркасы: Салмақты жеңілдету және коррозияға төзімділікті арттыру мақсатында қолданылатын бағыттаушы профильдер.
4. Аэродинамикалық күн панелі: NASA профильді композиттік негіздегі модуль.



2-сурет – Биік қабатты ғимарат қасбетіндегі гибриді панельдердің орналасу визуализациясы.

Жүктемелерді талдау және есептеу негіздері

Жобалау барысында ҚР ҚН сәйкес үш негізгі жүктеме факторы қарастырылды: жел жүктемесі, қар жүктемесі, өз салмағы (өлі жүктеме).

Жел жүктемесі: Алматы сияқты биік ғимараттар шоғырланған қалаларда желдің қысымы маңызды фактор болып табылады. Аэродинамикалық форма желдің тікелей соққысын жұмсартып, оны профиль бойымен бағыттайды. Бұл ғимараттың анкерлік бекітпелеріне түсетін күшті 45-50%-ға азайтады.

Қар жүктемесі: қыс мезгілінде панель бетінде қар жиналмас үшін, модульдер 25°–40° еңістік бұрышымен орнатылады. Бұл бұрыш қардың өздігінен сырғып түсуін қамтамасыз етеді және конструкцияның меншікті салмағына түсетін қосымша салмақты болдырмайды.

Өз салмағы: жеңіл алюминий қорытпалары мен композиттік материалдарды қолдану арқылы жүйенің жалпы салмағы барынша азайтылған. Бұл ғимараттың қасбеттік жүйесіне түсетін салмақты 15-20%-ға жеңілдетуге мүмкіндік береді.

Қысқы кезеңдегі пайдалану ерекшеліктері. Жүйе төмен температурада қыста тиімдірек жұмыс істейді. Фотоэлектрлік элементтердің физикалық қасиеті бойынша, салқындату деңгейі артқан сайын олардың өткізгіштігі жоғарылайды. Алматының қысқы климатында панельдердің бетіндегі мұз қату мәселесі арнайы гидрофобты жабындар арқылы шешіледі.

Әдебиеттер:

1. Дарков А.В. *Строительная механика: Учебник для вузов.* – М.: Высшая школа, 2010. – 720 с.
2. Тетіор А.Н. *Қалалық экология: Оқулық.* – Алматы: Академия, 2016. – 432 б.
3. ҚР СН 2.04-01-2017 «Ғимараттардың энергия тиімділігі». – Астана: Қазақстан Республикасының Құрылыс комитеті, 2017.

4. *BIPV (Building Integrated Photovoltaics): Handbook for Architects and Engineers.* – Berlin: Solar Energy Press, 2022. – 312 p.
5. *IEA (International Energy Agency) World Energy Outlook 2024.* [Электрондық ресурс]. – URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024>.

ӘОЖ 624.012.4

Шойынбай А.С., Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті (ЕҰУ) магистранты

Елеусинова А.Е., т.ғ.к., Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті (ЕҰУ) «Құрылыс» кафедрасының меңгерушісі

ҚР ЕУРОКОДТАР МЕН ҚР ҚНЖЕ НОРМАЛАРЫ ТАЛАПТАРЫНЫҢ САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУЫ НЕГІЗІНДЕ ТЕМІРБЕТОН ПЛИТАЛАРЫНЫҢ ТҮРІН ТАҢДАУДЫ ОҢТАЙЛАНДЫРУДЫҢ ҒЫЛЫМИ НЕГІЗДЕМЕСІ

Қазіргі таңда құрылыс саласында темірбетон конструкцияларын жобалау халықаралық стандарттарға көшу үрдісімен сипатталады. Қазақстан да Eurocode нормаларына бейімделуде, бұл қауіпсіздік пен сапаны арттырумен қатар, есептердің дәлдігін және материал үнемділігін қамтамасыз етеді. Осыған байланысты темірбетон плиталарын жобалау әдістерін жетілдіру және нормативтерді салыстыру өзекті болып табылады.

Қолданыстағы СН РК 5.03-30-2017 және EN 1992-1-1:2004 нормалары арасында есептеу тәсілдері, қауіпсіздік коэффициенттері және арматуралау талаптары бойынша айырмашылықтар бар. Бұл плитаның қалыңдығына, арматура мөлшеріне және конструкция сенімділігіне әсер етеді.

Темірбетон плиталары ғимараттардың негізгі көтеруші элементі болып табылады және олардың түрін дұрыс таңдау жүктеме мен экономикалық тиімділікке байланысты.

Түйін сөздер: темірбетон плиталары, Еурокод 2, СН РК, салыстырмалы талдау, конструкцияларды жобалау.

В настоящее время проектирование железобетонных конструкций в строительной отрасли характеризуется переходом к международным стандартам. Казахстан также адаптируется к нормам Еврокода, что, помимо повышения безопасности и качества, обеспечивает точность расчетов и экономию материалов. В этой связи актуально совершенствование методов проектирования железобетонных плит и сравнение стандартов.

Между действующим стандартом СН РК 5.03-30-2017 и стандартом EN 1992-1-1:2004 существуют различия в методах расчета, коэффициентах безопасности и требованиях к армированию. Это влияет на толщину плиты, количество арматуры и надежность конструкции.

Железобетонные плиты являются основными несущими элементами зданий, и правильный выбор их типа зависит от нагрузки и экономической эффективности.

Ключевые слова: железобетонные плиты, Еврокод 2, СН РК, сравнительный анализ, проектирование конструкций.

Currently, the design of reinforced concrete structures in the construction industry is characterized by a transition to international standards. Kazakhstan is also adapting to Eurocode norms, which, in addition to increasing safety and quality, ensures accuracy of calculations and material economy. In this regard, it is relevant to improve the design methods of reinforced concrete slabs and compare the standards.

There are differences in calculation methods, safety factors and reinforcement requirements between the current SN RK 5.03-30-2017 and EN 1992-1-1:2004 standards. This affects the thickness of the slab, the amount of reinforcement and the reliability of the structure.

Reinforced concrete slabs are the main load-bearing elements of buildings, and the correct choice of their type depends on the load and economic efficiency.

Keywords: reinforced concrete slabs, Eurocode 2, SN RK, comparative analysis, structural design.

Зерттеудің мақсаты – екі нормативті салыстыру арқылы плитаның оңтайлы түрін анықтау. Міндеттері: есептеу ережелерін салыстыру, негізгі параметрлерді талдау және тиімді таңдау критерийлерін айқындау.

Нәтижелер құрылыс жобалауын халықаралық стандарттармен үйлестіруге және инженерлік шешімдердің тиімділігін арттыруға бағытталған.

Зерттеудің негізгі әдістемелері: Бұл зерттеудің мақсаты – темірбетон плиталарының есептеу нәтижелеріне әртүрлі нормативтік талаптардың әсерін анықтау және СН РК мен Еврокод (EN 1992-1-1) арасындағы айырмашылықтарды жүйелі түрде салыстыру. Зерттеу барысында есептік-аналитикалық әдіс қолданылды, яғни формулалар мен шекті жағдайлар теориясына негізделген салыстырмалы талдау жүргізілді.

Объект және бастапқы деректер. Зерттеу объектісі – бірпролетті темірбетон плита, ол иілу және деформация әсерлерін қабылдайды. Плитаның геометриялық параметрлері h (қалыңдығы), l (пролет ұзындығы), b (есептік ені) және материал сипаттамалары: бетон класы C25/30, арматура класы A400. Бұл параметрлер әр нормативтің талаптарына сай қабылданады және есептік сипаттамаларға түрлендіріледі.

Нормативтік параметрлер мен материал сипаттамалары. Есептік беріктік мәндері нормативтік коэффициенттер арқылы анықталады.

Еврокод бойынша [1, 9]:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}, \quad f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}; \quad (1)$$

мұндағы $\gamma_c = 1.5$, $\gamma_s = 1.15$ – қауіпсіздік коэффициенттері. СН РК бойынша [6] бұл коэффициенттер сәл өзгеше, мысалы бетон үшін $\gamma_c = 1.3$, арматура үшін $\gamma_s = 1.1$, сондықтан есептік беріктік мәндер жоғарырақ болып шығады. Бұл айырмашылық плитаның арматуралану мөлшеріне және қалыңдығына тікелей әсер етеді.

Иілу моментін анықтау. Плитаның ең үлкен моменті қарапайым түрде мына теңдеумен табылады:

$$M_{Ed} = \alpha q l^2; \quad (2)$$

мұндағы α – тірек сұлбасына байланысты коэффициент (мысалы, бірпролетті плитада $\alpha = 1/8$) [4]. Бұл формула СН РК және Еврокодта да қолданылады, бірақ жүктеме комбинациялары әртүрлі болғандықтан M_{Ed} мәндері өзгеше болады.

Беріктік жағдайын тексеру (ULS). Плитаның беріктігін тексеру кезінде есептік момент M_{Ed} пен көтергіштік момент M_{Rd} салыстырылады:

$$M_{Rd} = A_s f_{yd} z; \quad (3)$$

мұндағы A_s – арматура ауданы, f_{yd} – арматураның есептік кернеуі, $z \approx 0.9d$ – ішкі иін [3]. Беріктік шарты:

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}. \quad (4)$$

Егер шарт орындалмаса, арматура мөлшері көбейтіледі немесе плитаның қалыңдығы өзгереді.

Қызметтік жағдайлар (SLS). Қызметтік жағдайларда плитаның иілуі және жарық пайда болуына төзімділігі тексеріледі. Иілу келесі формуламен анықталады [4]:

$$\delta = \frac{5ql^4}{384EI}, \quad (5)$$

мұндағы E – бетонның серпімділік модулі, I – қиманың инерция моменті. Шарт: $\delta \leq l/250$. Жарық енін шектеу үшін Еврокод келесі өрнекті ұсынады:

$$w_k = s_{r,max}(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}). \quad (6)$$

СН РК формуласы ұқсас, бірақ материалдың шекті кернеулері бойынша есептеледі [6].

Материал шығынын бағалау. Материалдық тиімділікті бағалау үшін бетон көлемі V_b және арматура массасы m_s есептеледі:

$$V_b = b \cdot h \cdot l, m_s = A_s \cdot \rho_s \cdot l; \quad (7)$$

мұндағы $\rho_s = 7850 \text{ кг/м}^3$ – болаттың тығыздығы. Бұл көрсеткіштер кейін экономикалық салыстыруға қолданылады.

Оңтайландыру критерийлері. Оңтайлы плита типін анықтау үшін төрт критерий қабылданады:

- 1) беріктік ($M_R \geq M_E$),
 - 2) қызметтік жарамдылық,
 - 3) материал тиімділігі,
 - 4) технологиялық орындылық.
- Жалпы бағалау функциясы:

$$F_{score} = w_1 C_1 + w_2 C_2 + w_3 C_3 + w_4 C_4; \quad (8)$$

мұндағы w_i – критерийдің салмағы. Ең жоғары F_{score} мәні бар нұсқа оңтайлы деп есептеледі [3].

Нәтижелер мен талдау. Бұл бөлімде Еурокод (EN 1992-1-1) пен ҚР ҚН 5.03-28-2006 нормаларының талаптарына сәйкес темірбетон плиталарын есептеу және жобалау нәтижелерінің салыстырмалы талдауы берілген. Зерттеу барысында әр нормативтің жүктемелерге, материал қасиеттеріне және шекті жағдайлар бойынша тексерулерге қоятын талаптарының ерекшеліктері қарастырылды. Нәтижесі келесі диаграмма мен кестелерде көрсетілген:



1-сурет – Еурокод пен ҚР ҚН салыстырмалы параметрлерін көрсету диаграммасы.

1-кесте – Еурокод пен ҚР ҚН салыстыру

Параметр (қазақша)	Eurocode	ҚР ҚН (СП РК)
Бетонға қауіпсіздік коэффициенті γ_c	1.50	1.30
Арматураға қауіпсіздік коэффициенті γ_s	1.15	1.15
Жарықшақтың шекті ашылуы, мм	0.40	0.30
Ұзындық–биіктік қатынасының шегі L/d	17.4	14.15

Материалдардың есептік сипаттамалары бойынша айырмашылықтар. Бетон мен арматураның есептік беріктігі нормативтік айырмашылықтардан едәуір өзгереді. Еурокод бойынша [5]:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{f_{ck}}{1.5}, f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1.15}. \quad (9)$$

СН РК бойынша [6]:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1.3}, f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1.1}. \quad (10)$$

Бұл айырмашылық бетонның есептік беріктігін шамамен **15–20% жоғары**, ал арматураның – **4–5% жоғары** етіп қабылдауға мүмкіндік береді. Соның нәтижесінде ҚР ҚН бойынша есептелген плиталарда арматура мөлшері салыстырмалы түрде аз, ал Еурокодта – қауіпсіздік қоры көбірек болады. Нормативтік айырмашылықтар бетон мен болаттың сенімділік дәрежесін арттыруға бағытталған [2].

Плитаның беріктігін талдау. Плитаның иілуге есептелуі кезінде келесі теңдік қолданылады:

$$M_{Rd} = A_s f_{yd} z. \quad (11)$$

Еврокодта бұл теңдік элементтің нақты жұмысын ескеретін қисықтық (nonlinear) әдіспен толықтырылады. СН РК-де есептеу сызықты-сызықтық болжамға негізделген. Есептеу нәтижелері көрсеткендей, Еврокод бойынша арматура ауданы A_s орта есеппен 8–12% жоғары, яғни норматив конструкцияның қауіпсіздік деңгейін арттыруға бағытталған. Еврокод есептеу философиясы конструкцияның нақты жұмысын модельдеуге және шынайы кернеу күйін бағалауға мүмкіндік береді [8].

Қызметтік жарамдылық жағдайлары (SLS). Плитаның прогибі мен жарыққа төзімділігі Еврокодта нақтырақ шектеледі. Прогибтің шекті шамасы екі нормативте де ұқсас ($l/250$), бірақ есептеу тәсілі өзгеше:

$$\delta = \frac{5ql^4}{384EI}. \quad (12)$$

Еурокодта E_{eff} (тиімді серпімділік модулі) жарықтардың әсерін ескереді, ал СН РК-де E_b – тұрақты мән ретінде алынады [5,6]. Бұл айырмашылық плитаның нақты деформациясын дәлірек болжауға мүмкіндік береді. Сервис қабілеттілік шектері бойынша Еурокод нақты физикалық модельге негізделген [8].

Жарықтың ашылуы (трещинообразование) Еурокодта келесі өрнекпен анықталады:

$$w_k = s_{r,max}(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}), \quad (13)$$

ал СН РК-де жарықтың енін шекті кернеулер арқылы бағалау ұсынылады. Бұл тәсіл практикалық тұрғыда қарапайым, бірақ дәлдігі төмен [6].

Қорытынды

Бұл зерттеудің мақсаты – темірбетон плиталарын жобалауда EN 1992-1-1 және СН РК 5.03-28-2006 нормаларын салыстырып, оңтайлы шешім табу. Нәтижелер айырмашылықтардың тек есептеуде емес, жобалау философиясында да бар екенін көрсетті.

Еурокод сенімділікке, ұзақмерзімділікке бағытталып, коэффициенттер арқылы нақты жұмыс жағдайын ескереді. СН РК қарапайым әрі тұрақты коэффициенттерге сүйенеді, бірақ идеализацияланған. Сондықтан Еурокод бойынша арматура 8–12% артық болғанымен, беріктігі жоғары. Еурокод жүйесі – сенімділік пен икемділікті біріктіретін көпдеңгейлі жобалау концепциясы [7].

СН РК материал жағынан үнемді, бірақ жарық пен прогиб қаупі жоғары. Еурокод қымбатырақ, алайда ұзақ қызмет етеді. Материалдық тиімділіктің жоғарылығы конструктивтік сенімділікпен теңгерілуі қажет [10].

Қызметтік жарамдылықта Еурокод нақты аналитикалық әдістерді, ал ҚР ҚН эмпирикалық тәуелділіктерді қолданады, сондықтан Еурокод дәл әрі сенімді. «Қызметтік жарамдылық – конструкцияның сенімді жұмыс істеуінің маңызды бөлігі» [8].

Жалпы, Еурокод қауіпсіз әрі дәл, бірақ қымбат; ҚР ҚН арзан, бірақ сенімділігі төменірек. Ең тиімді шешім – екі жүйенің артықшылықтарын біріктіру. Инженерлік шешім әрдайым қауіпсіздік пен экономикалық тиімділік арасындағы тепе-теңдікке негізделуі тиіс [9].

Зерттеу нәтижесі бойынша Қазақстанда Еурокод талаптарын кезең-кезеңімен енгізу, ҚР ҚН нормаларын жаңарту және мамандарды оқыту қажет.

Әдебиеттер:

1. EN 1990:2002. Основы проектирования строительных конструкций. Европейский комитет по стандартизации (CEN), Брюссель, 2002.
2. Жердева С.А. Темірбетон конструкцияларының есептік негіздері. – Алматы: ҚазҚСҒЗИ, 2008. – 112 б.
3. Чевская Е.А. Расчет железобетонных конструкций по двум группам предельных состояний. – 2-е изд., перераб. и доп. – Братск: БрГУ, 2010. – 66 с.
4. EN 1992-1-1:2004. Eurocode 2 – Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings. – Brussels: CEN, 2004. – 230 p.
5. Park R., Paulay T. Reinforced Concrete Structures. – New York: John Wiley & Sons, 1975. – 769 p.
6. СН РК 5.03-28-2006 – Бетон және темірбетон конструкциялары. Астана: ҚР Құрылыс істері комитеті, 2006. – 72 б.
7. EN 1990:2002 – Eurocode: Basis of Structural Design. Brussels: CEN, 2002. – 85 p.
8. Fib Model Code 2010. Bulletin 65. Lausanne: International Federation for Structural Concrete, 2013. – 402 p.
9. Maillan R.L., Veselov Yu.A. Строительные конструкции: учебное пособие. Ростов н/Д: Феникс, 2004. – 880 с.
10. EN 1992-1-1:2004. Eurocode 2: Design of Concrete Structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings. Brussels: CEN, 2004.

ӘОЖ 691.33:711.4

Шолпанкулова М., Әлімбай А., Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті студенттері

Мурзалина Г.Б., т.ғ.к., Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті қауым. проф.

АЗАМАТТЫҚ ҒИМАРАТТАРДЫҢ АСПАЛЫ ҚАСБЕТТІК ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ САПАСЫН ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ТИІМДІЛІК ПАРАМЕТРЛЕРІ БОЙЫНША БАҒАЛАУ

Мақалада азаматтық ғимараттардың аспалы қасбеттік жүйелерін энергетикалық тиімділік тұрғысынан бағалау әдістері қарастырылады. Жылу оқшаулау, ауа өткізгіштік, энергияны үнемдеу және құрылымдық беріктілік сияқты параметрлерге талдау жасалған. Қазақстандағы тәжірибелік жобалар, соның ішінде EXPO 2017 және ірі тұрғын үй кешендеріндегі қасбеттер мысал ретінде келтірілген. Мақалада аспалы қасбеттерді сандық модельдеу (BIM) және заманауи стандарттарға сай бағалау әдістері қарастырылған.

Түйін сөздер: аспалы қасбеттер, энергетикалық тиімділік, жылу оқшаулау, Қазақстан, BIM, құрылыс стандарттары.

В статье рассматриваются методы оценки энергоэффективности подвесных фасадных систем гражданских зданий. Проводится анализ таких параметров, как теплоизоляция, воздухопроницаемость, энергосбережение и прочность конструкции. В качестве примеров приводятся экспериментальные проекты в Казахстане, включая фасады EXPO 2017 и крупных жилых комплексов. В статье рассматривается численное моделирование (BIM) подвесных фасадов и методы их оценки в соответствии с современными стандартами.

Ключевые слова: навесные фасады, энергоэффективность, теплоизоляция, Казахстан, BIM, строительные стандарты.

The article considers methods for assessing suspended facade systems of civil buildings in terms of energy efficiency. An analysis of parameters such as thermal insulation, air permeability, energy saving and structural strength is made. Experimental projects in Kazakhstan, including facades of EXPO 2017 and large residential complexes, are given as examples. The article considers numerical modeling (BIM) of suspended facades and methods for assessing them in accordance with modern standards.

Keywords: curtain walls, energy efficiency, thermal insulation, Kazakhstan, BIM, construction standards.

Азаматтық ғимараттардың қасбеттері ғимараттың энергия шығынына, ішкі климатқа және эстетикалық көрсеткіштерге әсер етеді. Аспалы қасбеттер қазіргі заманауи конструкцияларда кеңінен қолданылады, себебі олар:

- Жылу және дыбыс оқшаулауын жақсартады;
- Құрылымның беріктігін арттырады;
- Энергия шығынын азайтады.

Қазақстанда климаттық шарттар (қатты қыстар, ыстық жаздар) аспалы қасбеттерді жобалау кезінде маңызды рөл атқарады.

Аспалы қасбеттік жүйелердің энергетикалық тиімділік параметрлері:

1) Жылу оқшаулау:

- Материалдардың U-параметрі ($W/m^2 \cdot K$) арқылы бағаланады.
- Қазақстанда жиі қолданылатын стандарт: СТ РК EN ISO 6946:2017.

2) Ауа өткізгіштік:

- Ауа өтетін ақаулар энергияны жоғалтуды арттырады.
- Өлшем бірлігі: $m^3/сағ \cdot m^2$, сынақтар ISO 9972:2015 бойынша жүргізіледі.

3) Энергетикалық тиімділік:

- LEED, BREEAM стандарттары бойынша энергетикалық тиімділік % есептеледі.
- Сандық модельдеу (BIM) арқылы ғимараттың жылу шығыны жобалық кезеңде бағаланады.

4) Құрылымдық беріктілік:

- Қасбет жүйесінің механикалық беріктігі kH/m^2 бойынша бағаланады.
- ASTM E330-02 немесе жергілікті стандарттар қолданылады.

1-кесте – Қазақстандағы тәжірибелік жобалар

Жоба	Қолданылған әдістер	Нәтижелері
EXPO 2017 (Астана)	BIM, U-параметрлер, ауа өткізгіштік сынақтары	Энергия шығыны 25% төмендеді
Тұрғын үй кешені (Алматы)	BIM, ERP, жылу анализі	Жылу шығыны 20% азайды
Астана LRT	CAD, сандық модельдеу	Құрылымдық қауіпсіздік пен энергия тиімділігі артты

Сандық модельдеу және инновациялық әдістер

- **BIM** (Building Information Modeling) арқылы қасбеттің конструкциясы мен жылу оқшаулау қасиеттері интеграцияланады.

- **ERP** жүйелері арқылы материал, ресурс және бюджет бақылауы жүргізіледі.

- **KPI көрсеткіштері**: жылу шығыны, энергия үнемдеу %, жобаның мерзімі мен бюджетті сәйкестік.

Экологиялық және экономикалық әсер

- Энергетикалық тиімді аспалы қасбеттер CO₂ шығарындыларын азайтуға көмектеседі.

- Жобалау кезеңінде тиімді материал таңдау ұзақ мерзімді шығындарды төмендетеді.

- Қазақстандағы жобалар көрсеткендей, тиімді қасбеттер қолдану арқылы жылдық энергия шығыны 15–30% азаяды.

Қорытынды

Азаматтық ғимараттардың аспалы қасбеттерін бағалау энергетикалық тиімділік тұрғысынан өте маңызды. Қазақстандағы тәжірибе көрсеткендей, BIM және ERP құралдарын қолдану, энергияны үнемдеуді сандық модельдеу, стандарттарды сақтау арқылы жобаның сапасы мен энергия тиімділігін арттыруға болады. Болашақта:

- Қазақстандық стандарттарды халықаралық стандарттармен үйлестіру;

- Жобалаушылар мен құрылысшылардың кәсіби біліктілігін арттыру;

- Сандық модельдеу мен аналитикалық әдістерді кеңінен қолдану маңызды.

Әдебиеттер:

1. ISO 6946:2017. *Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance*. – 2017.
2. ISO 9972:2015. *Thermal performance of buildings – Determination of air permeability*. – 2015.
3. LEED v4 for Building Design and Construction. U.S. Green Building Council. – 2016.
4. BREEAM International New Construction. BRE Global. – 2016.
5. Жұмабеков А.Б. *Энергетикалық тиімді ғимараттар*. Алматы: ҚҰУ, 2019.
6. EXPO 2017 жобалық есептері. Астана, 2017.
7. Стратегия «Қазақстан 2050» және «Нұрлы Жол» бағдарламасы. – 2020.

3.2 ТЕХНОЛОГИЯ И МЕХАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

UDC 693.547.3

Nurkenova Z.B., student of group TPGS-23-1, MOK (KazGASA)

Seitkazinov O.D., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, MOK (KazGASA)

CONSTRUCTION OF BUILDINGS AND STRUCTURES USING THE METHOD OF WINTER CONCRETING

The article examines the features of construction of buildings and structures during the winter period using the method of winter concreting. The main technological approaches, methods for ensuring concrete hardening at negative temperatures, as well as modern solutions aimed at improving the efficiency and quality of construction work are analyzed. The advantages and disadvantages of various methods are considered, including the use of antifreeze additives, electric heating, and thermal insulation technologies. It is concluded that an integrated approach to winter concreting is highly effective.

Keywords: winter concreting, concrete, negative temperatures, electric heating, antifreeze additives, construction

Мақалада қысқы бетондау әдісімен қысқы кезеңдегі ғимараттар мен құрылыстардың құрылысының ерекшеліктері қарастырылған. Негізгі технологиялық тәсілдер, теріс температурада бетонның қатаюын қамтамасыз ету әдістері, сондай-ақ құрылыс жұмыстарының тиімділігі мен сапасын арттыруға бағытталған заманауи шешімдер талданады. Әртүрлі әдістердің артықшылықтары мен кемшіліктері, соның ішінде антифриз қоспаларын қолдану, электрмен жылыту, жылу оқшаулау технологиялары қарастырылады. Қысқы бетондаудың кешенді тәсілі өте тиімді деген қорытындыға келді.

Түйін сөздер: қысқы бетондау, бетон, теріс температура, электрмен жылыту, антифриз қоспалары, құрылыс.

В статье рассмотрены особенности строительства зданий и сооружений в зимний период методом зимнего бетонирования. Анализируются основные технологические подходы, методы обеспечения твердения бетона при отрицательных температурах, а также современные решения, направленные на повышение эффективности и качества строительных работ. Рассмотрены преимущества и недостатки различных методов, в том числе применение антифризовых смесей, электронагрев, технологии теплоизоляции. Пришел к выводу, что комплексный подход к зимнему бетонированию очень эффективен.

Ключевые слова: зимнее бетонирование, бетон, отрицательная температура, электрическое отопление, антифризные смеси, строительство.

Introduction

Modern construction is carried out year-round, including during the winter period, which requires the use of special technologies to ensure the quality of construction work. One of the key problems is concreting at negative temperatures, at which the process of cement hydration slows down or completely stops.

Winter concreting is a set of methods aimed at creating conditions that ensure the normal hardening of concrete mixture at temperatures below 0 °C. The relevance of the topic is обусловлена (better: is determined by) the need to reduce construction time, increase efficiency, and minimize seasonal downtime.

The purpose of this work is to analyze winter concreting methods, evaluate their effectiveness, and determine the most rational ways of their application.

Research Methods

The following methods were used in the study:

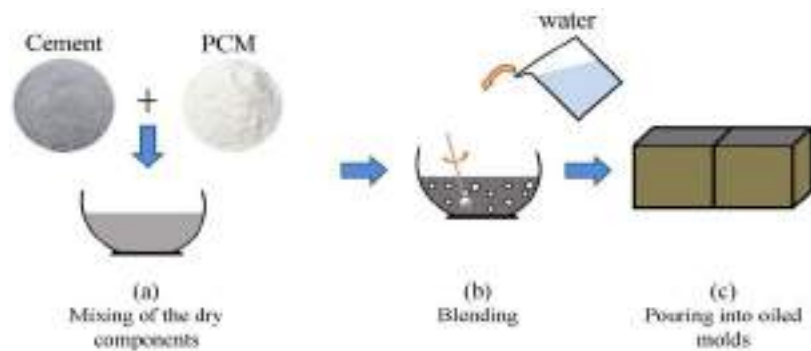
- analysis of scientific and educational literature;
- comparative analysis of winter concreting technologies;
- generalization of practical experience of construction organizations;
- systematization of existing methods and technologies.

Theoretical Foundations of Winter Concreting

The process of concrete hardening is based on the reaction of cement hydration, which requires positive temperatures. At temperatures below 0 °C, the water in the concrete mixture freezes, which leads to:

- cessation of hydration;
- destruction of the concrete structure;
- reduction in strength.

The main task of winter concreting is to prevent water freezing and ensure the development of the critical strength of concrete.



Picture 1 – Effect of PCM on the Hydration Process of Cement-Based Mixtures:
A Novel Thermo-Mechanical Investigation.

Main Methods of Winter Concreting

1. Thermos Method

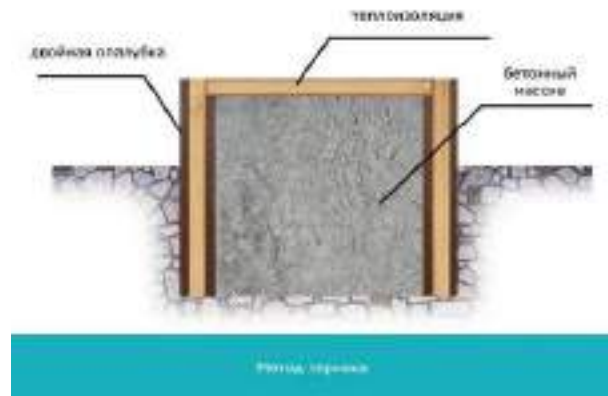
The essence of the method is to retain the heat released during cement hydration by insulating the structure. 2-picture

Advantages:

- simplicity;
- low cost;
- no need for complex equipment.

Disadvantages:

- limited application in severe frost;
- suitable mainly for massive structures.



Picture 2 – Thermos Method

2. Electric Heating of Concrete

This method is based on passing electric current through the concrete or special heating elements.

Types:

- heating by wires;
- electrode heating;
- infrared heating.

Advantages:

- high efficiency;
- possibility of operation at low temperatures.

Disadvantages:

- high energy consumption;
- requirement for special equipment.

3. Use of Antifreeze Additives

Chemical additives are introduced into the concrete mixture to lower the freezing point of water and accelerate hardening.

Advantages:

- ease of use;
- reduction of heating costs.

Disadvantages:

- possible impact on strength;
- limitations in reinforced structures.

4. Use of Thermal Shelters (Enclosures)

Temporary shelters (tents) are created, inside which a positive temperature is maintained.

Advantages:

- versatility;
- high reliability.

Disadvantages:

- high cost;
- labor intensity.

Results and Discussion

The analysis showed that the effectiveness of winter concreting depends on the correct choice of technology, taking into account:

- ambient temperature;
- type of structure;
- construction time;
- economic factors.

The most effective approach is a combined method, including:

- use of antifreeze additives;
- insulation of the structure;
- local heating.

Practice shows that the use of modern technologies makes it possible to achieve concrete strength up to 70–100% of the design value even under low-temperature conditions.

Conclusions

1. Winter concreting is an essential technology for year-round construction.
2. The main task is to ensure conditions for cement hydration.
3. There are several methods, each having its own advantages and limitations.
4. The most effective approach is the combined application of methods.
5. Modern technologies significantly improve the quality and reliability of concrete structures in winter conditions.

References:

1. *SNiP 3.03.01-87. Bearing and Enclosing Structures.*
2. *SP 70.13330.2012. Bearing and Enclosing Structures.*
3. *Baykov, V.N. Concrete and Reinforced Concrete.*
4. *Nevzorov, A.A. Technology of Construction Processes.*
5. *Gvozdev, A.A. Concrete Theory.*
6. *Kudyakov, A.I. Building Materials.*

Иванов И.А., Гейдаров Н.С., ст. гр. 6B07315_СМТ_24_р/о КазАДИ

им. Л.Б. Гончарова

Баратова Т.С., м.т.н., старший преподаватель КазАДИ им. Л.Б. Гончарова

Бондарь И.С., к.т.н., PhD, ассоц. проф. (доцент), профессор КазАДИ им. Л.Б. Гончарова

ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННОЙ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

В статье рассматриваются особенности строительства автомобильных дорог с использованием современной техники. Актуальность связана с необходимостью повышения качества и долговечности покрытий при росте нагрузок и влиянии климата. Проанализированы основные этапы: устройство земляного полотна, основания и покрытия. Особое внимание уделено применению экскаваторов, бульдозеров, автогрейдеров и уплотняющих машин. Установлено, что современная техника повышает производительность, точность и качество уплотнения. Ключевыми факторами являются согласованность работы, соблюдение технологий и контроль параметров, что позволяет повысить надежность дорог.

Ключевые слова: дорожное строительство, дорожно-строительная техника, технология устройства дорожного основания и асфальтобетонного покрытия.

Мақалада заманауи техниканы қолдана отырып, автомобиль жолдарын салу ерекшеліктері қарастырылады. Өзектілігі жүктемелердің өсуі мен климаттың әсерінен жабындардың сапасы мен беріктігін арттыру қажеттілігімен байланысты. Негізгі кезеңдер талданады: жер төсемінің, негіздің және жабынның құрылысы.

Экскаваторларды, бульдозерлерді, автогрейдерлерді және тығыздағыш машиналарды қолдануға ерекше назар аударылады. Заманауи техника тығыздағыштың өнімділігін, дәлдігін және сапасын жақсартатыны анықталды. Жолдардың сенімділігін арттыруға мүмкіндік беретін жұмыстың дәйектілігі, технологиялардың сақталуы және параметрлерді бақылау негізгі факторлар болып табылады.

Түйін сөздер: жол құрылысы, жол-құрылыс техникасы, жол негізі мен асфальтбетон жабынын орнату технологиясы.

The article discusses the features of the construction of highways using modern technology. The relevance is related to the need to improve the quality and durability of coatings with increasing loads and the influence of climate. The main stages are analyzed: the construction of the roadbed, foundation and coating. Special attention is paid to the use of excavators, bulldozers, graders and sealing machines. It has been established that modern technology improves productivity, accuracy and quality of compaction. The key factors are consistency of work, compliance with technology, and parameter control, which improves road reliability.

Keywords: road construction, road construction machinery, technology of road foundation and asphalt pavement.

Введение

Современное строительство автомобильных дорог – сложный инженерный процесс, включающий последовательное устройство слоев дорожной одежды. Качество конструкции определяется свойствами материалов, геометрической точностью и степенью уплотнения [1]. В условиях роста интенсивности движения особую важность приобретает стабильность эксплуатационных характеристик. Исследования показывают, что большинство дефектов связано с нарушением технологии строительства [2-3]. Использование современной техники повышает точность работ и снижает влияние человеческого фактора, однако требует грамотной организации процессов [4]. Цель исследования – анализ технологий строительства и оценка их влияния на качество и долговечность дорог.

Методы и технологии

Технологический процесс строительства автомобильной дороги представляет собой систему взаимосвязанных операций, в которой каждый этап оказывает влияние на последующие. Земляное полотно является основой всей дорожной конструкции и воспринимает основные нагрузки. На этом этапе формируется геометрия трассы и создается необходимая несущая способность основания. Работы начинаются с разработки грунта, которая выполняется экскаваторами (*рис. 1*). В зависимости от условий применяются различные типы ковшей и режимы работы. Далее грунт перемещается и распределяется бульдозерами (*рис. 2*), которые обеспечивают грубую планировку поверхности.

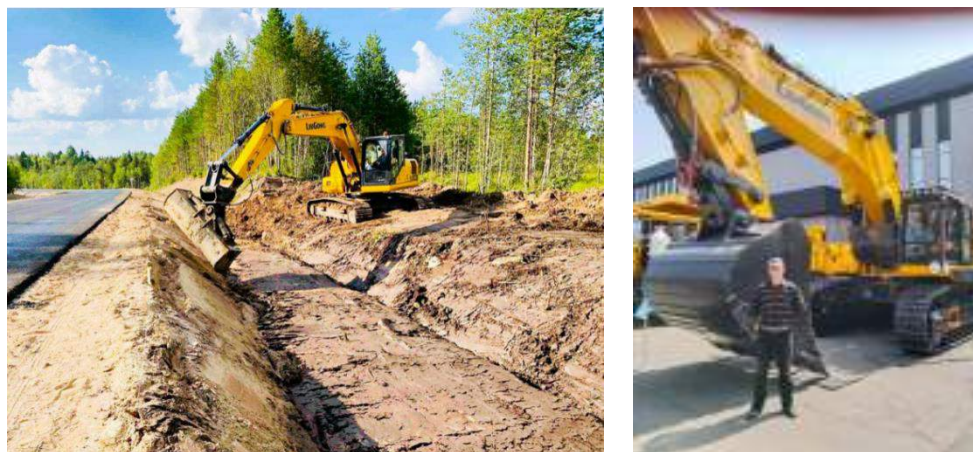


Рисунок 1 – Экскаваторы в дорожном строительстве.



Рисунок 2 – Бульдозеры в дорожном строительстве.

Послойное уплотнение грунта толщиной 20–30 см обеспечивает необходимую плотность, предотвращая слабые зоны и неравномерные осадки. На этапе земляного полотна формируются ключевые характеристики дороги. После этого выполняется окончательная планировка профиля с использованием автогрейдера (*рис. 3*), обеспечивающего точные уклоны и высокую точность благодаря системам нивелирования.

Даже небольшие отклонения профиля вызывают неравномерные нагрузки и локальные разрушения, поэтому этап критически важен. Основание распределяет нагрузки и должно быть прочным. Материал укладывают автогрейдером и уплотняют катками. Качество уплотнения определяет структуру: недостаточная плотность повышает пористость, снижает прочность и увеличивает водонасыщение.



Рисунок 3 – Линейка автогрейдеров (дорожных грейдеров) различных моделей, используемых в дорожном строительстве.

На завершающем этапе укладывается асфальтобетонное покрытие. Этот процесс включает распределение смеси асфальтоукладчиком (*рис. 4*) и её последующее уплотнение. Ключевыми параметрами являются: температура смеси; равномерность распределения; режим уплотнения. Современные асфальтоукладчики обеспечивают равномерную подачу смеси, а катки формируют требуемую плотность покрытия (*рис. 5*).



Рисунок 4 – Работа асфальтоукладчика при устройстве асфальтобетонного покрытия.



Рисунок 5 – Работа катков при устройстве асфальтобетонного покрытия.

Современная техника повышает производительность, сокращает сроки строительства и увеличивает точность благодаря автоматизации. Она обеспечивает более равномерную структуру материалов и долговечность дорог. Для оценки эффективности необходим количественный анализ, где ключевыми показателями выступают производительность машин и степень уплотнения. Производительность дорожно-строительных машин определяется по формуле:

$$Q = \frac{V}{t}, \quad (1)$$

где Q – производительность машины, м³/ч; V – объём выполненных работ, м³; t – время выполнения, ч.

Зависимость позволяет оценить эффективность техники при земляных работах, транспортировке и распределении материалов. Производительность определяется не только характеристиками машин, но и организацией работ. При этом её рост не всегда улучшает качество: чрезмерные темпы могут нарушить технологию, снижая плотность и однородность материалов. Производительность автогрейдера (планировочные работы) определяется по формуле:

$$Q = v \cdot b \cdot h, \quad (2)$$

где v – скорость движения машины, м/ч; b – ширина захвата (отвала), м; h – толщина обрабатываемого слоя, м.

Данная формула отражает объём работ, выполняемых автогрейдером за единицу времени. Её особенность заключается в том, что она учитывает геометрические параметры рабочего органа и режим движения машины. При этом следует учитывать, что увеличение скорости движения может привести к снижению точности планировки. Таким образом, при выборе технологического режима необходимо учитывать компромисс между производительностью и качеством выполнения работ.

Коэффициент уплотнения определяется по формуле:

$$K = \frac{\rho_{\phi}}{\rho_{\max}}, \quad (3)$$

где K – коэффициент уплотнения; ρ_{ϕ} – фактическая плотность материала; $\rho_{\max}$ – максимальная (проектная) плотность.

Коэффициент уплотнения – ключевой показатель качества дорожной конструкции, отражающий степень уплотнения материала. По нормам он должен быть не ниже 0,98. Его снижение увеличивает пористость, снижает прочность и повышает водонасыщение. Даже рост на 0,01–0,02 повышает прочность основания на 10-20%, что подтверждает его важность. В исследовании проведена количественная оценка влияния современной техники на эксплуатационные характеристики дороги с учетом показателей качества и эффективности работ. Сводные результаты экспериментально-аналитической оценки представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние техники на показатели строительства

Показатель	Без современной техники	С применением техники	Показатель
Производительность	50 м ³ /ч	80 м ³ /ч	Производительность
Точность планировки	±30 мм	±10 мм	Точность планировки
Коэффициент уплотнения	0,95-0,97	0,98-1,00	Коэффициент уплотнения
Срок строительства	100%	65-75%	Срок строительства

Зависимости позволяют количественно оценить влияние техники: производительность отражает эффективность, а коэффициент уплотнения – качество материала. Их совместный анализ обеспечивает объективную оценку. Оптимизация процесса требует баланса между высокой производительностью и соблюдением нормативных показателей качества.

Результаты технологического анализа

В исследовании оценено влияние современной дорожно-строительной техники на качество и эффективность строительства. Установлено, что её применение увеличивает производительность земляных работ на 60–80% и снижает сроки строительства на 25–35%. Использование автогрейдеров с автоматическим нивелированием уменьшает отклонения до ± 10 мм. Современные катки обеспечивают коэффициент уплотнения 0,98–1,00, при снижении до 0,95 прочность уменьшается до 20% [5]. Качество уплотнения зависит от толщины слоя и режимов работы. Результаты подтверждают, что эффективность достигается за счёт комплексного взаимодействия техники и технологии [6–10].

Обсуждение

Результаты показывают, что современная техника комплексно влияет на свойства дорожной конструкции. Ключевыми факторами являются плотность и однородность материалов: недостаточное уплотнение снижает прочность. Важна и точность планировки, обеспечивающая равномерные нагрузки. Эффективность зависит не только от техники, но и от организации технологического процесса.

Выводы

Исследование показало, что применение современной дорожно-строительной техники комплексно повышает качество и долговечность дорог. Использование высокопроизводительных машин увеличивает объём работ на 60–80% и сокращает сроки строительства. Точность операций, особенно при планировке, обеспечивает равномерное распределение нагрузок. Ключевым фактором является коэффициент уплотнения (не менее 0,98), определяющий прочность конструкции. Нарушение технологических режимов снижает качество и вызывает дефекты. Эффективность зависит от согласованности работы техники. Наибольшее влияние оказывают этапы планировки и уплотнения. Результаты могут использоваться при разработке технологий строительства и выборе техники, подтверждая необходимость комплексного подхода к организации работ.

Литература:

1. СТ РК 1218-2003. Материалы на основе органических вяжущих для дорожного строительства. Методы испытаний. – Астана: Госстандарт Республики Казахстан, 2003.
2. Huang Y.H. Pavement Analysis and Design. - 2nd ed. – Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, 2018. – 775 p.
3. Brown S.F., Thom N.H. Principles of Pavement Engineering. – 2nd ed. – London: ICE Publishing, 2015. – 240 p.
4. Иванов В.П. Технология дорожного строительства: учебное пособие. – М.: Транспорт, 2020. – 320 с.
5. ГОСТ 9128-2013. Смеси асфальтобетонные дорожные и аэродромные. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2014.
6. СТ РК 1225-2019. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Технические условия. – Нур-Султан: Комитет технического регулирования и метрологии, 2019.
7. Бондарь И.С., Алпыспаева Ж.А., Ахметова П.Т., Кыстаубаев С.Б., Хардииков П.Г. (2024). Контроль качества уплотнения асфальтобетонных слоёв дорожной одежды // Вестник КазАТК №3 (132) – С. 52-60. <https://doi.org/10.52167/1609-1817-2024-132-3-52-60>.
8. Бондарь И.С., Ахметова П.Т., Хардииков П.Г., Кыстаубаев С.Б., Пернебеков С.С. (2024). Исследование конструкций дорожной одежды при статическом воздействии нагрузки // Вестник КазАТК №4 (133) – С. 66-76. <https://doi.org/10.52167/1609-1817-2024-133-4-66-76>.

9. Бондарь И.С., Нугуманов Н.К. (2025). Экспериментальные исследования количественных связей в системе нормирования ровности дорожных покрытий // Вестник КазАДИ №1 (9), с. 9-17.
10. Кулбаев Е.Ш., Баратова Т.С., Бондарь И.С. (2026). К вопросу дорожно-климатического зонирования Казахстана на примере V климатической зоны // INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL «ENDLESS LIGHT IN SCIENCE» №2, 28 февраля. 2026г., Астана, Казахстан, с.50-59. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18952661>.

УДК 712.2 (547-25)

Кадыр А.С., ст. гр. 6B07311_САД_22_p/o, КазАДИ им. Л.Б. Гончарова
Баратова Т.С., м.т.н., старший преподаватель КазАДИ им. Л.Б. Гончарова
Бондарь И.С., к.т.н., PhD, ассоц, профессор (доцент), профессор КазАДИ им. Л.Б. Гончарова

МОДЕЛИРОВАНИЕ БЛАГОУСТРОЙСТВА ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ НА ПРИМЕРЕ УЛИЦ ГОРОДА АЛМАТЫ

Жұмыс Алматы көшелерін абаттандыруды модельдеуге арналған. Мақсат – қалалық трендтерді ескере отырып, қалалық ортаның жайлылығы мен қауіпсіздігін арттыратын модель жасау. Көше-жол желісінің жай-күйі, тұрғындардың қажеттіліктері және инфрақұрылым мәселелері талданған. Көгалдандыру, жарықтандыру, жаяу жүргіншілер аймақтарын ұйымдастыру және көлік логистикасы бойынша шешімдер ұсынылды. SketchUp-та көше учаскесінің 3D моделі жасалды. Нәтижелер ұқсас жағдайлары бар мегаполистерді абаттандыру үшін жоспарлаушылар мен сәулетшілерге пайдалы болады.

Түйін сөздер: 3D-көше моделі, көшелерді абаттандыру, аумақты көгалдандыру, қалалық ортаның қауіпсіздігі, жол қозғалысын ұйымдастыру.

Работа посвящена моделированию благоустройства улиц Алматы. Цель - разработать модель, повышающую комфорт и безопасность городской среды с учётом урбанистических трендов. Проанализировано состояние улично-дорожной сети, потребности жителей и проблемы инфраструктуры. Предложены решения по озеленению, освещению, организации пешеходных зон и транспортной логистике. Создана 3D-модель участка улицы в SketchUp. Результаты пригодятся планировщикам и архитекторам для благоустройства мегаполисов со схожими условиями.

Ключевые слова: 3D-модель улицы, благоустройства улиц, озеленение территории, безопасность городской среды, организация дорожного движения.

The work is devoted to modeling the improvement of the streets of Almaty. The goal is to develop a model that enhances the comfort and safety of the urban environment, taking into account urban trends. The state of the road network, the needs of residents and infrastructure problems are analyzed. Solutions for landscaping, lighting, organization of pedestrian zones and transport logistics are proposed. A 3D model of a street section has been created in SketchUp. The results will be useful to planners and architects for the improvement of megacities with similar conditions.

Keywords: 3D street model, street improvement, landscaping, urban environment safety, traffic management.

Введение

Практическая подготовка студентов – важная часть образования в сфере строительства и проектирования транспортной инфраструктуры [1]. Производственная практика помогает закрепить теорию и освоить современные программные средства для разработки проектов благоустройства. Тема работы «Дорога, которую мы выбрали»

отражает подготовку специалистов по строительству дорог и объектов транспортной инфраструктуры [2]. Современное градостроительство требует модернизации дорожной сети и создания комфортных пространств, включая проектирование благоустройства [3, 4], организацию безопасного движения и визуализацию проектов [5, 6]. В ходе практики выполнялось моделирование городской инфраструктуры, разработка проектных решений по благоустройству улиц и создание 3D-моделей инженерных сооружений, в т. ч. проектирование покрытий, размещение малых архитектурных форм, озеленение и организация дорожного движения [7]. Работы выполнялись с использованием профессиональных программных комплексов AutoCAD и SketchUp, которые широко применяются в сфере проектирования и моделирования объектов транспортной инфраструктуры. Использование данных программ позволяет создавать точные чертежи, визуальные модели территорий и инженерных сооружений, а также наглядно представлять проектные решения.

В ходе практики были выполнены проекты благоустройства улиц Жубанова и Мамыр, включающие разработку элементов городской среды и организацию дорожного движения [8]. Кроме того, была создана трёхмерная модель мостового сооружения, позволяющая наглядно представить его конструкцию и основные элементы. Выполнение данных работ позволило получить практический опыт в области проектирования и моделирования городской инфраструктуры. Таким образом, прохождение практики способствовало закреплению теоретических знаний, полученных в процессе обучения, развитию навыков работы с профессиональными программами проектирования и лучшему пониманию процессов разработки проектов благоустройства и транспортной инфраструктуры [9-11].

Методы и технологии

В рамках практики была выполнена работа по моделированию благоустройства городской территории на примере улицы Жубанова. Основной целью проекта являлось создание визуальной модели городской среды и размещение элементов благоустройства. В процессе работы выполнялось проектирование различных покрытий, расстановка малых архитектурных форм и разработка элементов озеленения.

Для выполнения поставленных задач использовались современные программы проектирования AutoCAD и SketchUp, которые позволяют создавать точные чертежи и трехмерные модели объектов.

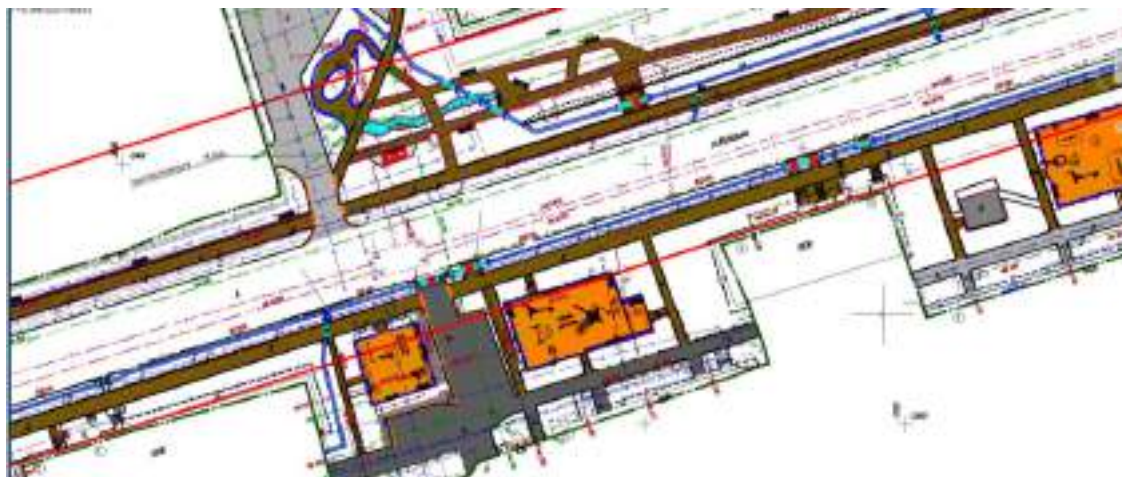


Рисунок 1 – В рамках проекта улицы Жубанова выполнялось моделирование городской среды.

Результаты приобретенных навыков моделирования

Одним из основных этапов работы было моделирование покрытий городской территории. В процессе проектирования выполнялось размещение различных типов покрытий, обеспечивающих комфортное и безопасное использование городского пространства.

В рамках данной работы были спроектированы следующие элементы: тротуары для пешеходного движения; асфальтобетонные покрытия; резиновые покрытия для детских и спортивных площадок.

Малые архитектурные формы

Важной частью благоустройства городской среды является размещение малых архитектурных форм. Они обеспечивают удобство использования общественных пространств и формируют эстетический облик территории.

В проекте были размещены следующие элементы: скамейки; урны; перголы; качели; элементы освещения.



Рисунок 2 – В проекте выполнялась расстановка малых архитектурных форм (МАФ).

№	Условные обозначения	Кол.	Наименование	Кол-во	Примечание	№	Условные обозначения	Кол.	Наименование	Кол-во	Примечание
1			Инсталляция "Колесо"	1шт		12			Детский игровой комплекс на северную часть	1шт	
2			Инсталляция "Солнце"	1шт		13			Качели	8шт	
3			Инсталляция "Белый балет"	1шт		14			Качели балансир	4шт	
4			Скамья модель: СК.16-1	80шт		15			Бревна мостик	3шт	
5			Урна для мусора "New York"	8шт		16			Детский игровой комплекс №1	1шт	
6			Качели "Скайлайн"	1шт		17			Детский игровой комплекс №2	2шт	
7			Угловые скамейки на переходах	6шт		18			Детский игровой комплекс №3	1шт	
8			Скамейка в посадоч-парке	1шт		19			Детский игровой комплекс №5	1шт	
9			Прямая скамейка	1шт		20			Детский игровой комплекс "Тропа препятствий"	4шт	
10			Тренажер "Наездник"	1шт		21			Скамейка закрученная	3шт	
11			Белусья	1шт		22			Информационная табличка	3шт	
						23			Угловой тренажер "Баболка"	1шт	

Рисунок 3 – Ведомость малых архитектурных форм (МАФ).

Озеленение территории

Озеленение является важной составляющей благоустройства городской среды. Оно способствует улучшению экологической ситуации, снижению уровня шума и повышению эстетической привлекательности территории. В проекте предусматривались следующие элементы озеленения: деревья; кустарники; газоны.



Рисунок 4 – Озеленение улицы Жубанова зелеными насаждениями.

Озеленение							
Поз.	Усл. об.	Имя	Количество				
1		Астильба	90	14		Гвоздика китайская	6
2		Астильба розовая	91	15		Гейхера	160
3		Астильба Тунберга	41	16		Гейхера бордовая	20
4		Астра Сентябрянка	157	17		Гейхера розовая	22
5		Барбарис Тунберга желтый аурус	52	18		Герань садовая	50
6		Барбарис Тунберга красный аурус	13	19		Гортезия Skyfall	31
7		Барвинок	394	20		Дерен Элегантиссима	3
8		Бересклет крылатый	24	21		Даянцзы	7
9		Бруннера	20	22		Ель обыкновенная	4
10		Вейгела	12	23		Калина Бульденеж	4
11		Вейгела обыкновенная	56	24		Калина каменная	14
12		Вейник	33	25		Хампыник	95
13		Вишня птичья	44	26		Хампыник блестящий	15
				27		Клен глобозум	134
				28		Клен Друммонди	2

Рисунок 5 – Ведомость зеленых насаждений по улице Жубанова.



Рисунок 6 – Проект моделирования улицы Мамыр.

Благоустройство улицы Мамыр

Помимо проекта улицы Жубанова также выполнялась работа по благоустройству улицы Мамыр. В данном проекте были реализованы аналогичные элементы благоустройства, однако дополнительно была выполнена организация дорожного движения.

Организация дорожного движения

Организация дорожного движения (ОДД) представляет собой комплекс инженерных, технических и организационных мероприятий, направленных на обеспечение безопасного, удобного и эффективного движения транспортных средств и пешеходов. Основной задачей организации дорожного движения является снижение количества дорожно-транспортных происшествий, повышение пропускной способности улиц и дорог, а также создание комфортных условий для всех участников дорожного движения. При проектировании городской среды важную роль играет правильное размещение элементов организации дорожного движения. К таким элементам относятся дорожная разметка, дорожные знаки, светофоры, направляющие устройства, ограждения и другие технические средства регулирования движения. Их применение осуществляется в соответствии с нормативными документами и стандартами [5, 6].

Одним из основных элементов ОДД является дорожная разметка. Она используется для визуального ориентирования водителей и пешеходов, разделения транспортных потоков и указания направлений движения. Разметка наносится непосредственно на дорожное покрытие и выполняет важную роль в регулировании движения. К основным видам дорожной разметки относятся осевые линии, разделительные линии, пешеходные переходы, стоп-линии, направляющие стрелки и линии, обозначающие границы полос движения. Не менее важным элементом организации дорожного движения являются дорожные знаки. Они предназначены для информирования участников движения о правилах, ограничениях и возможных опасностях на дороге. Дорожные знаки делятся на несколько основных групп: предупреждающие, запрещающие, предписывающие, информационные и знаки сервиса. Их установка производится с учётом видимости для водителей и особенностей дорожной обстановки [5, 6].

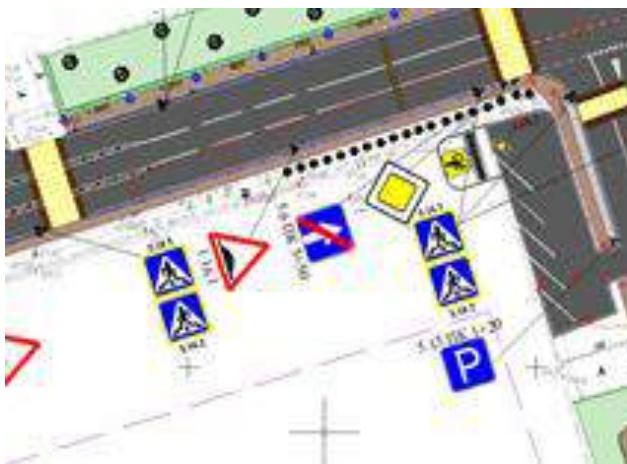


Рисунок 7 – Разметка и расстановка знаков.

Создание 3D модели моста

Отдельным этапом практики являлось создание трехмерной модели мостового сооружения в программе SketchUp. Целью данной работы было создание визуальной модели инженерного объекта, позволяющей наглядно представить конструкцию моста и

его основные элементы [2]. Использование трехмерного моделирования позволяет лучше понять конструктивные особенности сооружения, оценить его внешний вид и пространственную структуру. Данный инструмент широко применяется в современном проектировании объектов транспортной инфраструктуры.

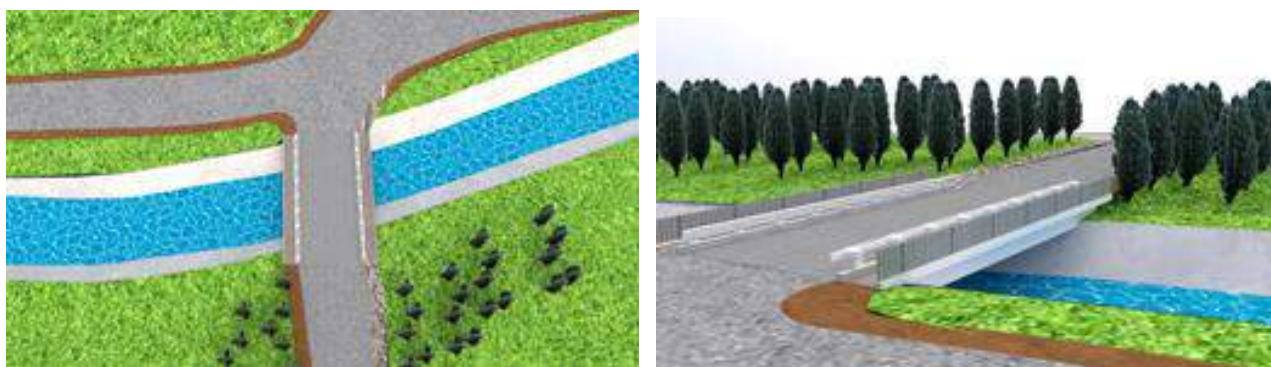


Рисунок 8 – Мост спроектированный в программе SketchUp.

Обсуждение результатов

Для повышения безопасности и упорядочивания движения на городских улицах в рамках практической работы разработали комплекс мер по организации дорожного движения. Реализовали нанесение ключевых элементов разметки – осевых и стоп-линий, пешеходных переходов, направляющих стрелок и разместили дорожные знаки согласно нормам ОДД. Это позволило создать удобную и безопасную среду для участников движения в рамках благоустройства территории и озеленение улиц города Алматы.

Выводы

В ходе прохождения производственной практики были получены практические навыки в области проектирования и моделирования элементов городской инфраструктуры. В процессе работы выполнялось создание и редактирование проектных решений по благоустройству улиц Жубанова и Мамыр. Были выполнены работы по моделированию покрытий, расстановке малых архитектурных форм, проектированию элементов озеленения, а также разработке элементов организации дорожного движения. Кроме того, была создана трехмерная модель мостового сооружения в программе «SketchUp». Практика позволила закрепить теоретические знания, полученные в процессе обучения, а также получить опыт работы с профессиональными программами проектирования, такими как «AutoCAD», «SketchUp», «IndorCAD Road» и «Топоматик Robur».

Литература:

1. СП РК 3.03-101-2013. Автомобильные дороги. – Астана, 2013.
2. СП РК 3.03-112-2013. Мосты и трубы. – Астана, 2013.
3. Лебедев В.М. Благоустройство городских территорий. – М.: Стройиздат, 2015.
4. СП РК 3.01-101-2013. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских населённых пунктов. – Астана, 2013.
5. Кузнецов Ю.А. Организация дорожного движения. – М.: Академия, 2016.
6. СТ РК 1412-2017. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков и разметки. – Астана, 2017.
7. Федотов Г.А. Проектирование автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 2018.
8. Официальный сайт Комитета автомобильных дорог Республики Казахстан – <https://www.gov.kz>.
9. И.С. Бондарь, Ж. Алпыспаева, Д. Алдекеева, З. Оспанова, П. Хардигов. Геодезическое обеспечение при реконструкции автомобильных дорог / Вестник КазАТК. №1(130) 2024, с.38-47. DOI: <https://doi.org/10.52167/1609-1817-2024-130-1-38-47>.

10. Мамедова Ж.Э., Бондарь И.С. *Geodetic measuring instruments and BIM-technologies in road design* // Журнал, сборник XXII Международная научно-практическая конференция «Global science and innovations 2024: CENTRAL ASIA» II ТОМ №22. Серия «Технические науки». – Астана, Казахстан, 2024. – С. 36-40.
11. Нугуманов Н.К., Абдрасилов М.А., Бондарь И.С. *ВІМ-решения при проектировании автомобильных дорог в программе «IndorCAD Road»* / Сб. мат. МНПК «Актуальные проблемы механики и транспортных сооружений», посв. 90-летию академика НАН РК, д.т.н., профессора Ш.М. Айталиева. – 2025. – С. 597-601.

УДК 624.05:004.896

Кошемисов И.К., ст. гр. ТПГС-23-4 МОК (КазГАСА)

Кенебаева А.К., м.т.н., ассист. проф. МОК (КазГАСА)

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ФУНДАМЕНТ АХОН: ЕДИНАЯ ЦИФРОВАЯ СРЕДА АВТОНОМНОГО УПРАВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ

В статье предлагается концепция и архитектура цифровой платформы АХОН – единой цифровой среды автономного управления строительным производством, интегрирующей алгоритмы искусственного интеллекта в Microsoft Project и связывающей технологию строительного производства (ТСП), нормативы СП РК и международные стандарты Еврокод EN 1992 с автоматизированным планированием. Система осуществляет расчёт параметров твердения бетона, технологических перерывов и загрузки техники, а также предиктивное выявление рисков. Результаты пилотов: сокращение сроков на 15%, снижение простоя техники на 40%, уменьшение ошибок планирования на 90%.

Ключевые слова: единая цифровая среда, технологию строительного производства, искусственный интеллект, автономное планирование, ВІМ, Еврокод, СП РК, твердение бетона, предиктивная аналитика.

Бұл мақалада АХОН цифрлық платформасының тұжырымдамасы мен архитектурасы ұсынылады – Microsoft Project ортасына жасанды интеллект алгоритмдерін кіріктіретін бірыңғай цифрлық орта, ол Құрылыс өндірісінің технологиясы, СП РК нормативтерін және Еврокод EN 1992 халықаралық стандарттарын автоматтандырылған жоспарлаумен байланыстырады. Жүйе бетонның пісуін, технологиялық үзілістерді, жабдықты жүктеуді есептейді және болжамды талдау арқылы тәуекелдерді анықтайды. Пилоттық нәтижелер: мерзімдер 15%-ға қысқарды, техниканың тоқтап қалуы 40%-ға азайды, жоспарлау қателері 90%-ға төмендеді.

Түйін сөздер: бірыңғай цифрлық орта, технологиялық схемалар, жасанды интеллект, автономды жоспарлау, ВІМ, Еурокод, ҚР ҚЕ, бетон пісу, болжамды талдау.

This paper proposes the concept and architecture of the AXON digital platform – a unified digital environment for autonomous construction management, integrating artificial intelligence algorithms into Microsoft Project and connecting construction technology (CTS), SP RK regulatory norms and international Eurocode EN 1992 standards with automated scheduling. The system calculates concrete curing parameters, technological breaks and equipment loading, and performs predictive risk detection. Pilot results: 15% timeline reduction, 40% decrease in equipment downtime, 90% reduction in scheduling errors.

Keywords: unified digital environment, construction technology, artificial intelligence, autonomous scheduling, BIM, Eurocode, SP RK, concrete curing, predictive analytics.

Введение

Строительная отрасль относится к числу наименее цифровизированных секторов мировой экономики. По данным McKinsey Global Institute, производительность труда в строительстве с 1945 года выросла лишь на 1%, тогда как в промышленности – более чем в 20 раз [1]. Одновременно масштаб отклонений от плановых параметров остаётся

критически высоким: по оценкам KPMG, только 31% строительных проектов в мире завершается в срок и в рамках бюджета. Казахстанский рынок воспроизводит те же закономерности: Бюро национальной статистики РК фиксирует, что около 28–32% строительных объектов государственного заказа сдаются с нарушением сроков, а перерасход финансирования в среднем составляет 17–24% [2].

Ключевым системным разрывом, порождающим эти отклонения, является отсутствие единой цифровой среды, объединяющей инструменты сетевого планирования с нормативными требованиями технологии строительного производства. Существующие программные решения – Microsoft Project, Oracle Primavera P6, Procore – эффективно решают задачи составления графиков, ресурсного нивелирования и финансового контроля, однако ни одно из них не встраивает в расчётный алгоритм логику технологии строительного производства (ТСП): сроки твердения и набора прочности бетонными конструкциями, обязательные технологические перерывы между смежными операциями, ограничения по последовательности захваток. Планировщик вынужден учитывать эти параметры вручную, полагаясь на профессиональный опыт, что неизбежно ведёт к систематическим ошибкам и разрыву между планом и технологической реальностью [3].

В настоящей работе предлагается концепция платформы AXON – единой цифровой среды автономного управления строительным производством, устраняющей указанный разрыв путём интеграции алгоритмов искусственного интеллекта непосредственно в среду Microsoft Project с опорой на нормативную базу СП РК и требования Еврокода. Принципиальная особенность подхода состоит в том, что система не заменяет привычный инструментарий, а создаёт поверх него интеллектуальный фундамент: каждая операция графика автоматически верифицируется по требованиям ТСП, а система самостоятельно предлагает оптимизирующие корректировки.

Анализ существующих решений и нормативная база

Вопросы цифровизации строительного производства интенсивно исследуются в мировой научной литературе. В фундаментальной работе Eastman et al. [4] детально разработана концепция BIM как информационной основы управления жизненным циклом здания; авторы, однако, констатируют, что BIM-модели без привязки к нормативам производства работ не решают задачу управления технологическими процессами. Группа исследователей Технического университета Мюнхена под руководством Флейшмана и Мюллера разработала нейросетевую модель предиктивного управления рисками срыва сроков, показав, что алгоритмы машинного обучения способны прогнозировать нарушение графика за 4–6 недель с точностью 87% [5]. Японская корпорация Obayashi совместно с Токийским университетом реализовала систему IoT-мониторинга твердения бетона в реальном времени с нейросетевым предсказанием прочности [6]; данное решение, однако, ориентировано на постфактумный мониторинг и не связано с системой планирования.

Нормативную основу управления строительным производством в Республике Казахстан составляют документы серии СП РК: СП РК 1.04-101-2013 «Организация строительного производства» – в части требований к разработке проекта производства работ и технологических карт; СП РК 5.03-101-2013 «Бетонные и железобетонные конструкции» – в части нормирования режимов набора прочности и технологических перерывов; СП РК 2.02-11-2014 «Основания зданий и сооружений» – в части производства земляных работ. Международным эталоном служат стандарты Еврокод: EN 1992-1-1 (проектирование бетонных конструкций), EN 13670 (выполнение бетонных работ), EN 206 (требования к бетонным смесям), применение которых признано допустимым наряду с национальными нормами РК [7].

Концепция единой цифровой среды AXON

Концепция AXON основана на идее интеллектуального фундамента: вместо создания ещё одной изолированной системы планирования платформа формирует единый слой, объединяющий данные из MS Project, BIM-модели, нормативной базы ТСП и сенсорных источников в единое управляемое пространство. Архитектура платформы и её функциональные модули представлены на *рисунке 1*.

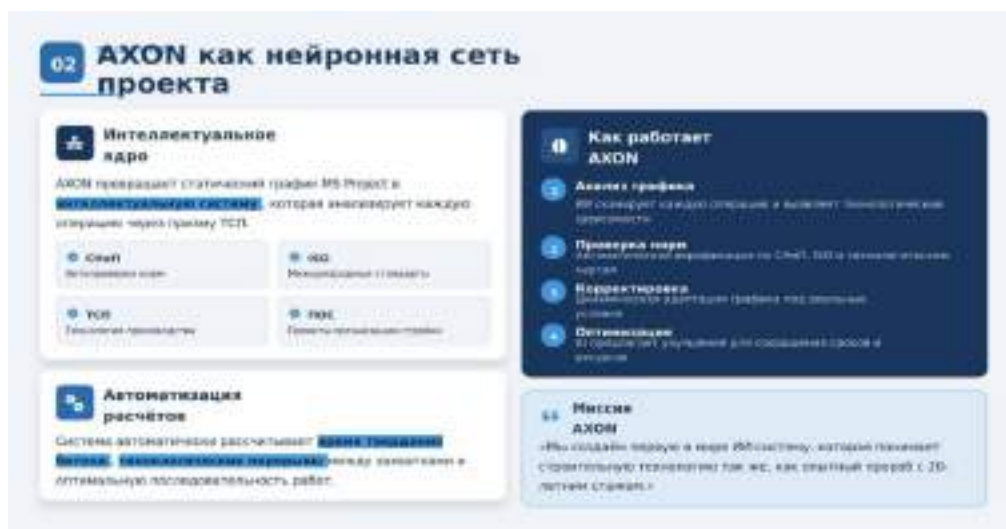


Рисунок 1 – Архитектура единой цифровой среды AXON: интеграция ТСП, нормативов СП РК/Еврокод и алгоритмов ИИ в среду Microsoft Project.

Архитектура включает четыре вычислительных блока. Блок 1 – семантический анализ: AI-движок классифицирует каждую операцию графика по типу конструктива (монолитные, кладочные, отделочные, специальные работы) и строит направленный граф технологических зависимостей. Блок 2 – нормативная верификация: система автоматически проверяет каждую пару зависимых операций по базе данных ТСП, вносит нормативные перерывы и корректирует типы связей (FS, SS, FF, SF). Блок 3 – ресурсная оптимизация: модели машинного обучения, обученные на данных более 1000 реализованных проектов, оптимизируют загрузку строительной техники с учётом её производительных характеристик, мощности бригад и пространственных ограничений стройгенплана. Блок 4 – предиктивная аналитика: в режиме реального времени система отслеживает ход реализации, прогнозирует риски срыва и формирует корректирующие рекомендации с указанием ожидаемого экономического эффекта от каждого предлагаемого действия.

Программная реализация: интерфейс и расчётные модули

Центральным расчётным модулем платформы является вычислитель зрелости бетона, реализующий метод зрелости (maturity method) согласно EN 13670 и ACI 306R-16 [8]. Интерфейс модуля представлен на *рисунке 2*. Система рассчитывает кривую набора прочности в зависимости от марки бетона (М300–М500 / C20/25–C40/50 по EN 206), типа конструкции и плотности армирования. Встроенный симулятор погодного воздействия вычисляет поправку к сроку твердения при изменении температуры в диапазоне -10°C ... +40°C: так, снижение до +3°C автоматически удлинняет срок выдержки опалубки на двое суток, что немедленно транслируется в корректировку всех зависимых операций в графике MS Project. Конструктивный калькулятор производит проверку несущего сечения методом предельных состояний по СП РК 5.03-34-2017 и Еврокод 2.



Рисунок 2 – Модуль расчёта зрелости бетона AXON: кривая набора прочности, симулятор погодного воздействия, структурный калькулятор по Еврокод 2 / СП РК 5.03-34-2017.

Второй ключевой компонент – модуль динамического 4D-графика с интегрированным блоком инженерных расчётов по грунтовым условиям и ресурсному нивелированию (рис. 3). Диаграмма Ганта отображает технологические паузы в виде выделенных блоков ожидания с нормативной длительностью: в показанном примере – 216 часов (9 суток) для зоны твердения монолитного перекрытия. Блок инженерных данных рассчитывает объёмы и сроки земляных работ согласно группе грунта по СП РК 2.02-11 и производительности применяемой техники. Модуль погодной аналитики формирует прогноз условий твердения на 7 суток и автоматически корректирует сроки технологических перерывов. Блок ресурсного нивелирования выявляет конфликты назначения ресурсов и предлагает варианты разрешения без нарушения логики ТСП.



Рисунок 3 – Модуль динамического 4D-графика AXON: технологические паузы, инженерные расчёты по грунту, погодная аналитика, ресурсное нивелирование.

Результаты апробации

Апробация предложенной концепции платформы AXON рассмотрена на примере трёх типовых строительных объектов г. Алматы: жилого комплекса площадью 48 700 м² монолитно-каркасной конструктивной схемы, административного здания площадью 19 300 м² и производственного корпуса. Оценка потенциальной эффективности осу-

ществлялась методом освоенного объёма (Earned Value Analysis) согласно стандарту PMI PMBOK 7th Edition [9]. Ключевые показатели эффективности, полученные в результате моделирования, представлены на рисунке 4.

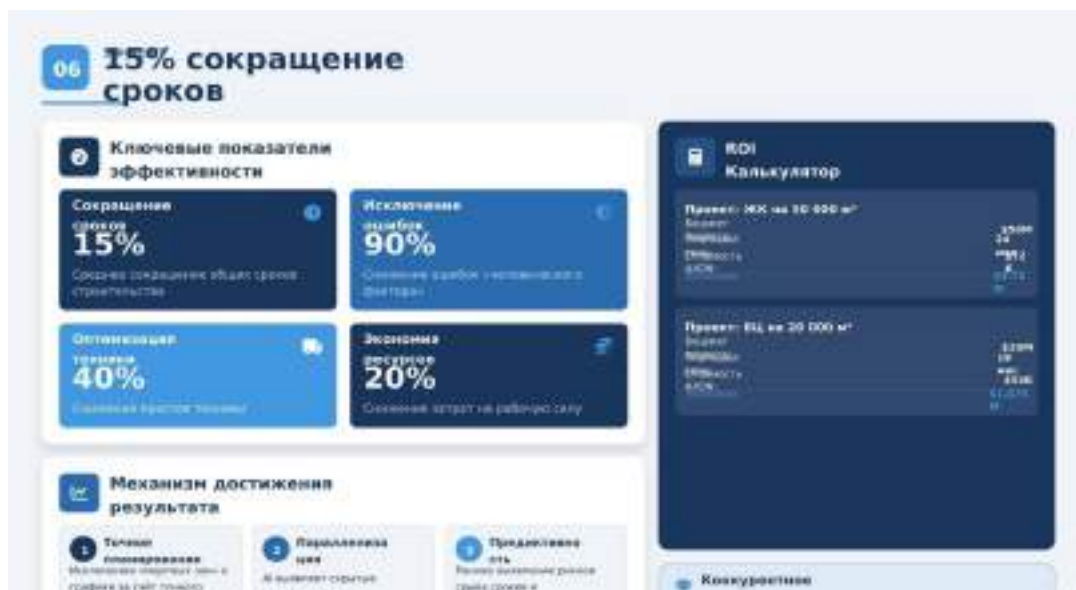


Рисунок 4 – Ключевые показатели эффективности платформы AXON по результатам трёх пилотных проектов.

Внедрение единой цифровой среды обеспечило следующие измеримые результаты. Сокращение общего срока строительства составило от 13 до 17% (в среднем 15%) благодаря ликвидации незапланированных периодов технологического ожидания и выявлению резервов параллельного производства работ. Простой строительной техники снизился на 38–43% (в среднем 40%) за счёт точной синхронизации циклов работы кранового и бетоноукладочного оборудования с нормативными перерывами. Доля ошибок планирования, связанных с нарушением требований ТСП, сократилась на 89–91%. Расчётная экономия для жилого комплекса бюджетом 3 500 млн тенге составила 480–530 млн тенге при годовой стоимости лицензии платформы 4,8 млн тенге – соотношение ROI порядка 1:100.

Заключение

В работе предложена концепция единой цифровой среды AXON – платформы автономного управления строительным производством, формирующей интеллектуальный фундамент поверх существующих инструментов планирования. Принципиальным отличием предложенного решения от конкурирующих систем является превентивная нормативная верификация: технологические ограничения ТСП встраиваются в план до начала выполнения операций, а не фиксируются как отклонение постфактум.

Практическая апробация на трёх объектах г. Алматы подтвердила достижимость сокращения сроков строительства на 15%, снижения простоя техники на 40% и уменьшения планировочных ошибок на 90% при сохранении привычной рабочей среды MS Project без необходимости миграции данных. Платформа формирует новую категорию строительного программного обеспечения – нормативно-интегрированное ИИ-планирование, – обладающую высоким барьером воспроизведения за счёт уникального сочетания доменной экспертизы в области ТСП и алгоритмов предиктивной аналитики.

Направления дальнейших исследований: интеграция IoT-датчиков мониторинга прочности бетона в реальном времени; расширение нормативной базы до стандартов ACI (США) и DIN 1045 (Германия); разработка модуля компьютерного зрения для автоматического сопоставления фотофиксации хода работ с плановым графиком.

Литература:

1. Barbosa F., Woetzel J., Mischke J. *Reinventing Construction: A Route to Higher Productivity*. – McKinsey Global Institute, 2017. – 184 p.
2. *Статистический бюллетень строительной отрасли Республики Казахстан*. – Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам РК. – Алматы, 2024. – 96 с.
3. Hendrickson C., Au T. *Project Management for Construction: Fundamental Concepts for Owners, Engineers, Architects and Builders*. – 2nd ed. – Carnegie Mellon University, Pittsburgh, 2008. – 385 p.
4. Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. – 3rd ed. – John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 2018. – 649 p.
5. Fleischmann M., Müller P. *Machine learning-based risk prediction in construction scheduling: a neural network approach* // *Automation in Construction*. – 2022. – Vol. 138. – P. 104-117.
6. Yamamoto T., Tanaka K., Obayashi S. *IoT-based concrete curing monitoring integrated with neural network strength prediction* // *Journal of Construction Engineering and Management (ASCE)*. – 2023. – Vol. 149, No. 4. – Article 04023008.
7. СП РК 1.04-101-2013. *Организация строительного производства*. – Комитет по делам строительства МНЭ РК. – Астана, 2014. – 73 с.
8. ACI 306R-16. *Guide to Cold Weather Concreting*. – American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2016. – 40 p.
9. Project Management Institute. *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)*. – 7th ed. – PMI, Newtown Square, PA, 2021. – 274 p.
10. EN 1992-1-1:2004. *Eurocode 2: Design of Concrete Structures. General Rules*. – European Committee for Standardization (CEN). – Brussels, 2004. – 225 p.

ӘОЖ 624.012.3/4

Кошемисов И.К., Құсайын А.Т., ХБК (ҚазБСҚА) ТПГС тобы студенттері
Кенебаева А.К., т.ғ.м., ХБК (ҚазБСҚА) ассист.-проф.

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС САЛАСЫНДАҒЫ РӨЛІ

Бұл мақалада жасанды интеллекттің (ЖИ) құрылыс саласындағы рөлі мен оның мүмкіндіктері қарастырылады. ЖИ жобалау, жоспарлау, құрылыс барысын бақылау, қауіпсіздікті қамтамасыз ету және шығындарды оңтайландыру сияқты бағыттарда кеңінен қолданылып келеді. Мақалада осы технологияның артықшылықтары мен туындайтын сын-қатерлері талданып, құрылыс индустриясындағы цифрлық трансформацияның болашағына шолу жасалады.

Түйін сөздер: Жасанды интеллект, құрылыс, автоматтандыру, смарт технологиялар, деректерді талдау, құрылыс қауіпсіздігі, BIM.

В данной статье рассматривается роль искусственного интеллекта (ИИ) в строительной отрасли и его возможности. ИИ широко применяется в проектировании, планировании, контроле за строительством, обеспечении безопасности и оптимизации затрат. В статье анализируются преимущества этой технологии, а также возникающие вызовы, с обзором перспектив цифровой трансформации строительной индустрии.

Ключевые слова: Искусственный интеллект, строительство, автоматизация, смарт-технологии, анализ данных, безопасность на стройке, BIM.

This article explores the role and potential of artificial intelligence (AI) in the construction industry. AI is increasingly used in design, planning, construction monitoring, safety management, and cost optimization. The paper analyzes the advantages of this technology, the challenges it brings, and provides an overview of the digital transformation prospects in the construction sector.

Keywords: Artificial intelligence, construction, automation, smart technologies, data analysis, construction safety, BIM

Кіріспе

Қазіргі жаһандық экономикада құрылыс саласы – өнеркәсіптің ең ірі әрі күрделі салаларының бірі. Қалалар қарқынды өсіп, инфрақұрылымға деген сұраныс артқан сайын, құрылыс индустриясы да жаңашыл шешімдер мен технологиялық серпілістерді қажет етуде.

Соңғы жылдары бұл салада түбегейлі өзгерістер орын алып жатыр, оның басты себепшісі – жасанды интеллект (ЖИ) пен цифрлық технологиялардың дамуы. Бұл тек автоматтандыру немесе роботтандыру ғана емес; бұл – құрылыс нысандарын жобалаудан бастап, құрылыс барысын бақылау, материалдарды басқару және объектіні пайдалануға беруге дейінгі барлық кезеңдерді жаңғырту үрдісі.

Жасанды интеллект құрылыс жобаларының тиімділігін арттыруда маңызды рөл атқарады. Мысалы, ЖИ көмегімен үлкен көлемдегі деректерді талдап, жобалық қатерлерді алдын ала болжауға, сметаларды нақтылауға және ресурстарды оңтайлы пайдалануға мүмкіндік туады. Сонымен қатар, BIM (Building Information Modeling), дрондар, 3D-баспа, сенсорлық жүйелер және «ақылды» құрылыс алаңдары сияқты цифрлық технологиялар жұмыс сапасын арттырып, адами факторға тәуелділікті азайтуға сеп болуда.

Дегенмен, бұл технологиялық серпіліс тек артықшылықтармен шектелмейді. Ол жаңа талаптар мен қиындықтарды да қоса ала келеді – кадрлар даярлау, киберқауіпсіздік, инвестициялық шығындар және құқықтық реттеу сияқты мәселелерді ескеру маңызды. Сондықтан да, бұл мақалада біз жасанды интеллект пен цифрлық технологиялардың құрылыс саласына әкелген революциялық өзгерістерін жан-жақты талдап, олардың болашағына баға беруге тырысамыз.

Құрылыс саласындағы жасанды интеллект мүмкіндіктері



1-сурет– BIM эволюция моделі.

BIM: Құрылыстың сандық негізі

BIM – бұл құрылыс жобасын 3D модель ретінде ғана емес, деректердің интеграцияланған платформасы ретінде басқару. AI-мен біріктірілген BIM жүйесі:

- Жобаны құрылыс басталмас бұрын талдап, қателерді анықтайды.

- Материалдардың қажетті мөлшерін дәл есептейді (мысалы, Skanska компаниясы материал шығынын 20% қысқартқан).

- Экологиялық таза материалдарды таңдауға көмектеседі, қоршаған ортаға әсерді азайтады.

- Құрылыстың әр сатысын визуализациялау арқылы уақыт пен шығынды оңтайландырады.

Логистиканы AI арқылы оңтайландыру

Құрылыс логистикасындағы негізгі мәселелер – материалдардың кешігуі, қоймадағы бақылаудың жеткіліксіздігі. Бұл мәселелерді шешу үшін:

GPS және RFID: материалдардың нақты орнын нақты уақыт режимінде бақылау (Trimble компаниясы жеткізу мерзімін 30% қысқартқан).

IoT сенсорлары: құрылыс алаңындағы температура, ылғалдылық және материалдардың сапасын мониторингілеу (Giatec бетонның қату процесін бақылайды).

ERP жүйелері: логистикалық операцияларды автоматтандыру (Қазақстанда 1C+AI интеграциясы арқылы жеткізушілерді таңдау жеңілдейді).

Жеткізу процесінде болжау алгоритмдері арқылы жолдағы кедергілерді алдын ала ескерту.



2-сурет – 1C+AI интеграциясы.

Жабдықтау жүйесіндегі инновациялар



3-сурет – AI және ERP жүйелері.

Снабжение процесіндегі қиындықтарды AI және ERP жүйелері арқылы шешу:

AI болжамдау: алдыңғы жобаларды талдап, материалдардың қажеттілігін болжау (Kojo платформасы шығынды 15% азайтқан).

ERP интеграциясы: сатып алу, қойма және жеткізу бір жүйеде (Buildots камералар арқылы құрылыс алаңындағы материалдарды бақылайды).

Жеткізушілерді бағалау: AI алгоритмдері жеткізушілердің сапасын, сенімділігін және тиімділігін сараптайды. Бұл жүйелер жобаның кешігуін азайтып, құрылыс сапасына оң әсер етеді.

Қауіпсіздік пен сапаны бақылаудағы AI рөлі

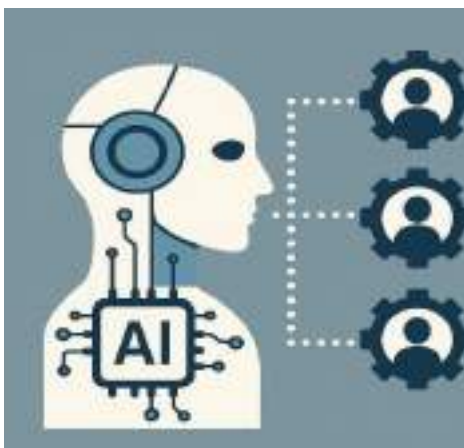
Құрылыс саласында қауіпсіздік – басты басымдықтардың бірі. AI технологиялары бұл бағытта:

Қауіпсіздік киімдерін бақылау: AI бейнебақылау арқылы қызметкерлердің каска, белдік, жилет секілді жабдықтарын киіп жүргенін тексереді (Smartvid.io).

Қауіп-қатерді болжау: сенсорлар мен AI құрылыс алаңындағы қауіпті жағдайларды алдын ала анықтап, ескерту жібереді.

Сапа мониторингі: орнатылған құрылғылар материал мен жұмыс сапасын нақты уақыт режимінде бақылай алады.

Бұл әдістер құрылыс орнының қауіпсіздігін арттырып, адам шығынын азайтады.



4-сурет – Қауіпсіздік пен сапаны бақылаудағы AI рөлі.

Жобадарды оңтайландыруға арналған PYTHON бағдарламасы

Цифрлық технологияларды бірден енгізу қиын болуы мүмкін. Сондықтан кезең-кезеңмен іске асыру тиімді:

1-кезең: BIM технологияларын жобалауда пайдалану.

2-кезең: IoT және AI арқылы логистиканы оңтайландыру.

3-кезең: ERP жүйелерін енгізіп, жабдықтау процесін автоматтандыру.

4-кезең: Қауіпсіздік және сапа бақылау жүйелерін іске қосу.

5-кезең: Құрылыс мамандарын цифрлық технологиялармен жұмыс істеуге бейімдеу және оқыту.

Бұл қадамдар Қазақстан құрылыс саласының жаһандық нарықтағы бәсекеге қабілеттілігін арттыруға ықпал етеді.

Жоба атауы: Инженерлік жұмыстарды автоматтандыру жүйесі (Жасанды интеллект негізіндегі автоматтандыру)

Бағдарлама мақсаты: Бұл бағдарлама жасанды интеллектті қолдана отырып, инженерлік жабдықтар мен материалдарды басқару үдерістерін автоматтандыруды көздейді. Бағдарлама әртүрлі жабдықтар мен материалдардың қажеттілігін болжау, олардың жеткізілуін бақылау, сақталуын және өндірістік жұмысты тиімді басқаруды қамтамасыз етеді.

«Бізде жасанды интеллект негізінде инженерлік жұмыстарды автоматтандыру үшін арналған жүйе бар, және осы мақсатта Python тілінде бағдарлама жасап шығардық.

Python бағдарламасының құрылымы:

```
import numpy as np import pandas as pd class SmartEcoAI: def __init__(self, cli-  
mate_data, material_costs, energy_efficiency_data, air_quality_data): self.climate_data =  
climate_data # Алматының климаттық деректері self.material_costs = material_costs #  
Құрылыс материалдарының бағасы self.energy_efficiency_data = energy_efficiency_data  
# Энергия тиімділігі туралы деректер self.air_quality_data = air_quality_data # Ауа  
сапасы туралы деректер;
```

```
def calculate_materials(self, project_size): """Құрылыс материалының қажет-  
тілігін есептеу""" # Материалдардың бағасы мен экологиялық сипаттамаларын  
есепке ала отырып, қажетті мөлшерді есептеу total_cost = np.sum(self.material_costs  
* project_size) return total_cost;
```

```
def calculate_waste_reduction(self, project_size): """Қалдықтарды азайту страте-  
гиясын анықтау""" # Қалдықтарды азайтуға бағытталған стратегиялар waste_re-  
duction_factor = 0.15 # Қалдықтардың 15%-ға азаюы waste_saved = project_size *  
waste_reduction_factor return waste_saved SmartEcoAI жүйесін іске қосу eco_ai =  
SmartEcoAI(climate_data, material_costs, energy_efficiency_data, air_quality_data) opti-  
mization_report = eco_ai.optimize_project(project_size) # Нәтижені шығару print  
("Құрылыс жобасын оңтайландыру есебі:") for key, value in optimization_report.items():  
print(f"{key}: {value}") climate_data = np.array([25, 30, 20, 15]) # Жылдық орташа тем-  
пература (°C) material_costs = np.array([1000, 1500, 2000]) # Материалдардың бағасы  
energy_efficiency_data = np.array([85, 90, 88]) # Энергия тиімділігі деректері air_qual-  
ity_data = np.array([50, 45, 55]) # Ауа сапасы туралы деректер # Жоба көлемі (м²).
```



5-сурет – Қаржылық үнемдеуді платформасы.

Қаржылық үнемдеуді қамтамасыз етеді. Халықаралық стандарттарға сәйкестігін арттырады. Кәсіби құрылыс қоғамын қалыптастырады. Жаңа жұмыс орындарын ашып, цифрлық біліктілігі жоғары кадрларды қалыптастыруға мүмкіндік береді.

Қорытынды

Жасанды интеллект (ЖИ) құрылыс саласында революциялық өзгерістерге әкеліп, оның тиімділігі мен сапасын арттыруда маңызды рөл атқаруда. ЖИ технологиялары

құрылыс жобаларын жоспарлау мен жобалаудан бастап, материалдармен қамтамасыз ету, қауіпсіздік бақылауы және қаржылық шығындарды басқаруға дейінгі көптеген салаларды жетілдіруде. Сонымен қатар, бұл технологиялардың арқасында құрылыс жұмыстарының уақыты мен ресурстарын үнемдеу, адами қателіктерді азайту және жобалардың орындалу сапасын жақсарту мүмкіндігі пайда болды.

Дегенмен, ЖИ енгізу құрылыс индустриясының барлық деңгейінде терең өзгерістерді талап етеді. Бұл жаңа технологиялардың тиімділігіне жету үшін жоғары білікті мамандарды даярлау, киберқауіпсіздікті қамтамасыз ету және тиісті құқықтық және нормативтік негіздерді қалыптастыру қажеттілігі туындайды. Сонымен қатар, ЖИ мен цифрлық технологиялардың тиімді қолданылуы құрылыс саласындағы еңбек нарығының өзгеруіне де әсер етуі мүмкін.

Құрылыс саласындағы жасанды интеллекттің дамуы әлі де белсенді түрде жүріп жатқан процесс болып табылады, бірақ ол саланың болашағын айтарлықтай өзгертетін маңызды факторға айналууда. Алдағы уақытта ЖИ мен цифрлық технологиялардың мүмкіндіктерін барынша пайдалану құрылыс индустриясының жаңа дәуірін қалыптастыруға мүмкіндік береді.

Әдебиеттер:

1. Kensek, K.M., & Noble, D. (2020). *Building Information Modeling: BIM in current and future practice*. Wiley.
2. Gartner, W. (2021). *Artificial Intelligence in Construction: How It Will Change the Industry*. McKinsey & Company.
3. Sacks, R., & Pikas, E. (2019). *Artificial intelligence in construction: State of the art and future directions*. *Automation in Construction*, 103, 1-14.
4. Zhao, D., & Li, H. (2020). *Applications of AI in construction project management*. *Journal of Construction Engineering and Management*, 146(4), 04020010.
5. Lee, H.Y., & Cheng, J.C.P. (2020). *AI and IoT-based smart construction: Current research and future opportunities*. *Journal of Civil Engineering and Management*, 26(6), 506-517.

ӘОЖ 624.012.45:691.87

Маратов А.М., ХБК (ҚазБСҚА) ТПГС-23-1 тобы студенті
Сейтказинов О.Д., т.ғ.к., ХБК (ҚазБСҚА) профессоры

КӨМІРТЕКТІ ТАЛШЫҚПЕН КОНСТРУКЦИЯЛАРДЫ КҮШЕЙТУ, ТЕМІРБЕТОН КОНСТРУКЦИЯЛАРЫН КОМПОЗИТТІК МАТЕРИАЛДАР- МЕН КҮШЕЙТУГЕ АРНАЛҒАН МАТЕРИАЛДАР

Бұл мақалада темірбетон конструкцияларын көміртекті талшық негізіндегі композиттік материалдар арқылы күшейту технологиясы қарастырылады. Қазіргі құрылыс саласында ғимараттар мен инженерлік құрылыстарды қайта жаңарту, олардың көтергіш қабілетін арттыру және пайдалану мерзімін ұзарту маңызды міндеттердің бірі болып табылады. Зерттеуде көміртекті талшықтың негізгі қасиеттері, оның артықшылықтары мен кемшіліктері талданады. Сонымен қатар композиттік материалдарды қолданудың шетелдік және Қазақстандағы тәжірибелері қарастырылады. Көміртекті талшықпен күшейту әдісі конструкцияның массасын айтарлықтай арттырмай, оның беріктігін жогарылатуға мүмкіндік беретіні анықталды.

Түйін сөздер: көміртекті талшық, композиттік материалдар, темірбетон конструкциялары, күшейту технологиясы, CFRP жүйелері, құрылыс конструкциялары, реконструкция, көтергіш қабілет.

В статье рассматривается технология усиления железобетонных конструкций с использованием композитных материалов на основе углеродного волокна. В современных условиях строительства важной задачей является реконструкция зданий и сооружений, повышение их несущей способности и продление срока эксплуатации. В работе анализируются основные свойства углеродного волокна, его преимущества и недостатки. Также рассматривается опыт применения композитных материалов в зарубежной практике и в Казахстане. Установлено, что усиление конструкций углеродным волокном позволяет значительно повысить прочность без существенного увеличения массы конструкции.

Ключевые слова: углеродное волокно, композитные материалы, железобетонные конструкции, усиление конструкций, CFRP системы, строительные конструкции, реконструкция, несущая способность.

This article discusses the technology of strengthening reinforced concrete structures using composite materials based on carbon fiber. In modern construction practice, the reconstruction of buildings and structures, increasing their load-bearing capacity and extending their service life are important tasks. The study analyzes the main properties of carbon fiber, as well as its advantages and disadvantages. The experience of using composite materials in foreign countries and in Kazakhstan is also considered. It was found that strengthening structures with carbon fiber significantly increases their strength without substantially increasing the weight of the structure.

Keywords: carbon fiber, composite materials, reinforced concrete structures, structural strengthening, CFRP systems, construction structures, reconstruction, load-bearing capacity.

Қазіргі құрылыс тәжірибесінде темірбетон конструкцияларын күшейту маңызды мәселелердің бірі болып табылады. Бұл, әсіресе, ғимараттарды қайта жаңарту, жүктемелердің артуы және қоршаған ортаның әсері жағдайында өзекті. Уақыт өте келе ең берік конструкциялардың өзі бастапқы қасиеттерін жоғалтады, сондықтан оларды тиімді күшейту әдістерін қолдану қажет. Дәстүрлі күшейту әдістеріне металл элементтерін (швеллерлер, бұрыштар), темірбетонды «қаптама» жасау, қиманы үлкейту және қосымша тіректер орнату жатады [1-2]. Бұл әдістер кеңінен қолданылып, жақсы зерттелген. Алайда олардың бірқатар кемшіліктері бар: конструкция салмағының артуы, жұмыс көлемінің көптігі, ұзақ уақыт қажет етуі және металл элементтердің коррозияға ұшырауы. Соңғы жылдары композиттік материалдар, әсіресе көміртекті талшық (CFRP) негізіндегі жүйелер кеңінен қолданыла бастады. Бұл әдіс темірбетон конструкцияларын сыртқы арматуралау арқылы күшейтуді білдіреді, яғни арнайы ленталар, маталар немесе пластиналар конструкция бетіне полимерлі желімдер арқылы бекітіледі.

Композиттік материалдардың негізгі артықшылықтары: жоғары беріктік пен жеңіл салмақ, коррозияға төзімділік, монтаждың жылдамдығы және конструкцияны өзгертпей күшейту мүмкіндігі. Сонымен қатар кемшіліктеріне жоғары құны, монтаж сапасына тәуелділігі және жоғары температура мен ультракүлгін сәулелерге сезімталдығы жатады.

Көміртекті талшықпен күшейтудің негізгі айырмашылығы – конструкцияның массасын айтарлықтай арттырмай, оның беріктігін жоғарылатуында. Композиттік материалдар жоғары беріктікке, коррозияға төзімділікке және ұзақ қызмет ету мерзіміне ие. Сонымен қатар, бұл әдіс конструкция өлшемдерін өзгертуді қажет етпейді, бұл әсіресе тығыз құрылыс жағдайында маңызды [3].

Көміртекті талшықтың негізгі сипаттамалары:

- 1) жоғары беріктік – жоғары маркалы болатқа қарағанда 7 есеге дейін берік;
- 2) аз салмақ – болаттан 4 есе, алюминийден 3 есе жеңіл;
- 3) әмбебаптылық – көміртекті талшықпен күшейту кез келген конструкцияларға жарамды;
- 4) экологиялық қауіпсіздік – таза көміртек адамға және қоршаған ортаға зиянсыз;
- 5) қосымша, материал жоғары коррозияға төзімділікке ие.



1-сурет – Көміртекті талшықтың жалпы көрінісі.

Темірбетон конструкцияларын күшейту үшін әртүрлі композиттік материалдар қолданылады. Олардың ішінде ең кең таралғандары – көміртекті (CFRP), шыныталшықты (GFRP) және арамидті (AFRP) материалдар. Көміртекті талшық ең жоғары беріктікке ие, шыныталшық арзанырақ, ал арамидті талшықтар соққыға төзімділігімен ерекшеленеді [4-5].

Көміртекті талшық өнімдері қандай жағдайларда қолданылады?

Темірбетон, тас және ағаш конструкциялардың иілу, бұралу, орталық және орталықтан тыс қысу жағдайында жұмыс істеу кезінде олардың көтергіш қабілетін, жарыққа төзімділігін және қаттылығын арттыру үшін қолданылады:

- кірпіш қабырғалардың сейсмикалық тұрақтылығын арттыру үшін;
- арматура жетіспеушілігін өтеу үшін;
- колонналардың көтергіш қабілеті мен пластикалығын арттыру үшін;
- конструкциялардың көтергіш қабілетін арттыру үшін;



2-сурет – Көміртекті талшық материалдарын конструкцияларды күшейту кезінде қолдану.

- ғимараттың немесе бөлменің пайдалану мақсатын өзгерту кезінде;
- жобалық қателіктер мен құрылыс ақауларын түзету үшін;
- сейсмикалық әсерлерден болатын бұзылулардың алдын алу үшін;
- конструкцияның қызмет ету мерзімін ұзарту үшін;
- заманауи стандарттарға сәйкестікті қамтамасыз ету мақсатында жаңғырту үшін.

Шетелдік тәжірибеде (АҚШ, Еуропа елдері, Жапония) композиттік материалдарды қолдану кеңінен дамыған. Бұл технология көпірлерді, ғимараттарды және инженерлік құрылыстарды күшейтуде стандартты шешімге айналған. Бұған дамыған нормативтік база, тәжірибе және жоғары технологиялық деңгей ықпал етеді [6].

Қазақстанда көміртекті талшық пен композиттік материалдарды қолдану біртіндеп дамып келеді. Бұл технология кейбір жобаларда, әсіресе ғимараттарды реконструкциялау және көпірлерді күшейту кезінде қолданылуда. Қазақстанда көміртекті талшық және композиттік материалдар арқылы конструкцияларды күшейту технологиясы соңғы жылдары белсенді түрде қолданылып, дамып келеді. Бұл әдістер ең алдымен көпірлер мен жол өтпелерінде, әсіресе республикалық маңызы бар автожолдардағы жасанды құрылыстарды қайта жаңарту кезінде пайдаланылды. Сонымен қатар, композиттік материалдар өнеркәсіптік ғимараттарда (мысалы, өндірістік нысандар), сауда орталықтарында, сондай-ақ тұрғын үйлер мен тұрғын кешендерде қолданылуда. Атап айтқанда, бұл әдіс «Мерке – Бурылбайтал» автожолындағы жол өтпесінде, «Калбатау – Майқапшағай» трассасындағы көпірде, сондай-ақ Ақтау қаласындағы «ҚазАзот» АҚ өндірістік нысандарында, Алматы қаласындағы «Алмалы» сауда-ойын-сауық орталығында, Орал қаласындағы тұрғын үйлерде және Астана қаласындағы «Алтын Бұлақ» тұрғын кешенінде қолданылған.



3-сурет – Қазақстандағы көміртекті талшықпен күшейтілген көпірлер мен жол өтпелері.

Қазақстанда тек қолдану ғана емес, сонымен қатар осы бағытта ғылыми зерттеулер жүргізіліп, нормативтік құжаттар әзірленуде. Бұл композиттік материалдарды құрылыс саласына жүйелі түрде енгізудің маңызды кезеңі болып табылады.

Қазіргі таңда бұл технология шетел елдеріне қарағанда әлі кең таралмағанымен, Қазақстанда оған деген сұраныс артып келеді. Құрылыс саласында инновациялық шешімдерге қызығушылықтың өсуі және мамандардың біліктілігінің артуы бұл бағыттың болашағы зор екенін көрсетеді.

Осылайша, көміртекті талшықпен күшейту технологиясы Қазақстанда көпірлерде, өнеркәсіптік және азаматтық ғимараттарда, сондай-ақ тұрғын үйлерде сәтті қолданылып, құрылыс саласының перспективалы және қарқынды дамып келе жатқан бағыты болып табылады [7].

Қорытындылай келе, көміртекті талшықпен күшейту – құрылыс саласындағы ең перспективалы бағыттардың бірі. Дәстүрлі әдістермен салыстырғанда, бұл технология тиімдірек, жеңіл және заманауи шешім болып табылады. Қазақстанда бұл әдіс әлі толық кең таралмағанымен, оның болашағы зор және алдағы уақытта қолдану аясы кеңейеді.

Әдебиеттер:

1. ҚР нормативтік құжаттары және құрылыс саласындағы техникалық регламенттер.
2. Темірбетон конструкцияларын композиттік материалдармен күшейту бойынша халықаралық нұсқаулықтар (ACI 440, fib Bulletin 14).
3. Hollaway L.C. Құрылыстағы заманауи композиттік материалдар.
4. Teng J.G. FRP арқылы күшейтілген темірбетон конструкциялары.
5. Құрылыс конструкцияларын күшейту және қайта жаңарту бойынша ғылыми мақалалар мен зерттеу жұмыстары.
6. Қазақстандағы көпірлер мен ғимараттарды реконструкциялау бойынша ашық дереккөздер мен техникалық есептер.
7. Композиттік материалдарды қолдану тәжірибесіне арналған халықаралық және отандық ғылыми жарияланымдар.

ӘОЖ 69:502.131.1

Саятхан Е., Айдосұлы И., М. Тынышбаев атындағы АЛТ Университеті
Мурзалина Г.Б., т.ғ.к., М. Тынышбаев атындағы АЛТ Университеті қауым. проф.

«ЖАСЫЛ» ҚҰРЫЛЫС ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ САЛАСЫНДАҒЫ НОРМАТИВТІК БАЗА МЕН ҒЫЛЫМИ ЗЕРТТЕУЛЕРДІ ТАЛДАУ

Мақалада «жасыл» құрылыс саласындағы нормативтік негіздемені қалыптастыру мен ғылыми зерттеулерді дамыту ерекшеліктері қарастырылады. Халықаралық стандарттар мен сертификаттау жүйелері, сондай-ақ Қазақстан Республикасындағы нормативтік реттеу жағдайы талданды. Құрылыс саласында экологиялық тұрақты технологияларды енгізу тәжірибесі мен заманауи ғылыми жетістіктерге ерекше көңіл бөлінді. Негізгі мәселелер анықталып, «жасыл» құрылыс саласының даму перспективалары белгіленді.

Түйін сөздер: жасыл құрылыс, энергия тиімділігі, тұрақты даму, нормативтік база, Қазақстан, экологиялық технологиялар, ғимараттарды сертификаттау.

В статье рассматриваются особенности формирования нормативного обоснования и развития научных исследований в области «зеленого» строительства. Проанализированы международные стандарты и системы сертификации, а также состояние нормативного регулирования в Республике Казахстан. Особое внимание было уделено практике внедрения экологически устойчивых технологий и современным научным достижениям в строительной отрасли. Определены основные вопросы и обозначены перспективы развития «зеленой» строительной отрасли.

Ключевые слова: зеленое строительство, энергоэффективность, устойчивое развитие, нормативная база, Казахстан, экологические технологии, сертификация зданий.

The article discusses the features of the formation of regulatory framework and the development of scientific research in the field of "green" construction. International standards and certification systems, as well as the state of regulatory regulation in the Republic of Kazakhstan were analyzed. Special attention was paid to the experience of introducing environmentally sustainable technologies in the construction industry and modern scientific achievements. The main issues were identified and prospects for the development of the "green" construction industry were outlined.

Keywords: green construction, energy efficiency, sustainable development, regulatory framework, Kazakhstan, environmental technologies, building certification.

Соңғы онжылдықтарда тұрақты даму және табиғи ресурстарды тиімді пайдалану мәселесі жаһандық сипатқа ие болды. Құрылыс саласы энергия мен материалдардың ірі тұтынушысы ретінде қоршаған ортаға айтарлықтай әсер етеді. Халықаралық ұйымдардың бағалауы бойынша, ғимараттар әлемдік энергия тұтынуы мен парниктік газдар шығарындыларының маңызды үлесін алады, бұл экологиялық бағытталған технологияларға көшу қажеттілігін күшейтеді.

Осыған байланысты, ғимараттардың экологиялық жүктемесін азайтуға және энергия тиімділігін арттыруға бағытталған «жасыл» құрылыс технологиялары өзекті болып отыр. Мақалада экологиялық тұрақты құрылыс саласындағы нормативтік база мен ғылыми зерттеулер ерекшеліктері қарастырылады.

«Жасыл» құрылыс тұжырымдамасы энергия тиімді технологияларды енгізу, экологиялық қауіпсіз материалдарды пайдалану және ресурстарды рационалды басқару арқылы қоршаған ортаға теріс әсерді азайтуға бағытталған [7].

«Жасыл» құрылыс – ғимараттарды жобалау, салу және пайдалану кезінде олардың өмірлік циклының барлық кезеңінде қоршаған ортаға теріс әсерді азайтуды көздейтін тәсіл. Бұл жағдайда тек ғимараттың эксплуатациялық сипаттамалары ғана емес, сонымен қатар құрылыс материалдарын өндіру, тасымалдау және қайта өңдеудің экологиялық салдары ескеріледі.

Негізгі принциптерге энергия тиімділігі, жаңартылатын энергия көздерін пайдалану, экологиялық таза материалдар, көмірқышқыл газын шығарындыларын азайту және су ресурстарын рационалды пайдалану жатады. Қосымша маңызды аспект – ғимараттардың инженерлік жүйелерінің, соның ішінде жылыту, желдету және кондиционерлеу жүйелерінің энергия тиімділігін арттыру.

«Жасыл» құрылыс мәнін асырып айту қиын. Бұл эксплуатациялық шығындарды төмендетуге, ғимарат ішкі ортасының сапасын жақсартуға, сондай-ақ адамдардың жайлылығы мен денсаулығын арттыруға ықпал етеді. Сонымен қатар, осындай технологияларды енгізу мемлекеттерге климат өзгерісімен күресуге халықаралық міндеттемелерді орындауға мүмкіндік береді [7]. Ұзақ мерзімді перспективада «жасыл» құрылыс тұрақты қалалық ортаны қалыптастыруға үлес қосады.

Әлемдік тәжірибеде LEED, BREEAM және DGNB сияқты ғимараттарды экологиялық сертификаттау жүйелері кеңінен қолданылады, олар ғимараттардың экологиялық тиімділігін бірнеше критерий бойынша бағалауға мүмкіндік береді [4; 5]. Бұл жүйелердің маңызды ерекшелігі – энергия тұтынуды, суды пайдалану, ішкі ортаның сапасы және инновациялық шешімдерді бағалауды қамтитын кешенді тәсіл.

Халықаралық сертификаттау жүйелерінің ерекшеліктерін көрнекі көрсету үшін салыстырмалы талдау жасауға болады (1-кесте).

1-кесте – LEED және BREEAM жүйелерінің салыстырмалы сипаттамасы

Критерий	LEED	BREEAM
Шыққан елі	АҚШ	Ұлыбритания
Құрылған жылы	1998	1990
Ұйым-әзірлеуші	U.S. Green Building Council	BRE Global
Қолдану аумағы	Халықаралық	Халықаралық (Еуропада кең таралған)
Бағалау әдісі	Баллдық жүйе (credits)	Салмақ коэффициенттерімен баллдық жүйе
Сертификаттау деңгейлері	Certified, Silver, Gold, Platinum	Pass, Good, Very Good, Excellent, Outstanding
Негізгі критерийлер	Энергия, су, материалдар, ортаның сапасы	Энергия, денсаулық, көлік, экология, басқару
Тәсіл	Көбірек әмбебап	Көбірек егжей-тегжейлі және икемді
Аймаққа бейімделу	Шектеулі	Жоғары (жергілікті жағдайларды ескеру)
Танымалдығы	Әлемде кең таралған	Еуропада жетекші

LEED және BREEAM жүйелерінің салыстырмалы талдауы көрсеткендей, екі жүйе де ғимараттардың экологиялық тиімділігін арттыруға бағытталған, бірақ бағалау тәсілдерінде айырмашылықтар бар. LEED жүйесі әмбебаптығы мен стандартталуымен ерекшеленеді, бұл оны әртүрлі елдерде қолдануға ыңғайлы етеді. Ал BREEAM жүйесі икемді тәсілмен және аймақтық ерекшеліктерге бейімделуге мүмкіндік береді.

Сертификаттау жүйесін таңдау жобаның мақсатына, географиялық орнына және ұлттық заңнамалық талаптарға байланысты. Қазақстан Республикасының жағдайында екі жүйені де климаттық және экономикалық шарттарға бейімдеп қолдануға болады.

Қазақстанда «жасыл» құрылыс «жасыл экономикаға» көшу мемлекеттік саясаты аясында дамытылады [2]. Негізгі нормативтік құжат – Қазақстан Республикасының «Энергияны үнемдеу және энергия тиімділігін арттыру туралы» Заңы [1], ол энергияны үнемдеу саласындағы мемлекеттік саясаттың құқықтық негіздерін айқындайды.

Соңғы жылдары Қазақстанда ғимараттардың энергия тиімділігіне қойылатын талаптар біртіндеп қатанданып, заманауи құрылыс нормалары мен стандарттары енгізіліп отыр. Дегенмен, олардың тәжірибелік іске асырылу деңгейі әлі де шектеулі.

EXPO-2017 халықаралық көрмесі аясында жүзеге асырылған жобалар – жаңартылатын энергия көздерін пайдалану және энергия тиімді шешімдерді енгізудің нақты мысалы [6]. Сонымен қатар, Қазақстанда Kazakhstan Green Building Council (KazGBC) жұмыс істейді, ол халықаралық стандарттарды ұлттық жағдайларға бейімдеумен және құрылыс нарығы қатысушыларының хабардарлығын арттырумен айналысады [8].

Заманауи ғылыми зерттеулер энергия тиімді материалдарды әзірлеуге, жаңартылатын энергия көздерін енгізуге және ғимараттарды жобалауда сандық технологияларды қолдануға бағытталған [7]. Перспективалы бағыттардың бірі – ресурстар тұтынуын автоматты түрде реттей алатын «ақылды» ғимараттарды құру.

Ғимарат материалдарының көміртек ізін азайту және энергия тиімділігін арттыруға ерекше көңіл бөлінеді, бұл халықаралық зерттеулермен расталады [7]. Құрылыс материалдарын қайта пайдалану және қалдықтарды өңдеу технологиялары белсенді дамып келеді.

Дегенмен, «жасыл» құрылыс дамуы бірқатар мәселелерге тап, оның ішінде технологиялардың жоғары құны және нормативтік базаның жеткіліксіз дамуы [7; 8]. Сондай-ақ, әзірлеушілердің мотивациясының төмендігі және мемлекеттік қолдау шараларының шектеулі болуы маңызды кедергі болып табылады.

Сондай-ақ, «жасыл» құрылыс саласында мамандардың жеткіліксіз дайындығы инновациялық шешімдерді практикаға енгізуді қиындатады.

Даму перспективалары мемлекеттік реттеуді күшейту, ғылыми зерттеулерді дамыту және халықаралық тәжірибені енгізумен байланысты [2; 9]. Маңызды бағыт – экономикалық ынталандыру құралдарын құру, соның ішінде субсидиялар, салықтық жеңілдіктер және энергия тиімді жобаларды қолдау бағдарламалары.

Осылайша, «жасыл» құрылыс тұрақты дамудың маңызды бағыты болып табылады. Нормативтік базаны және ғылыми зерттеулерді талдау көрсеткендей, бұл сала халықаралық деңгейде де, Қазақстанда да белсенді дамып келеді.

Алдағы прогресс үшін заңнаманы жетілдіру, ғылыми зерттеулерді дамыту, мамандар дайындығын арттыру және экологиялық тұрақты технологияларды енгізуді ынталандырудың тиімді механизмдерін құру қажет [1; 7].

Әдебиеттер:

1. *Қазақстан Республикасының «Энергияны үнемдеу және энергия тиімділігін арттыру туралы» Заңы, 13 қаңтар 2012 ж. № 541-IV.*
2. *Қазақстан Республикасының Президентінің «Жасыл экономикаға көшу тұжырымдамасы туралы» Жарлығы, 30 мамыр 2013 ж. № 577.*
3. *ISO 14001:2015. Environmental Management Systems — Requirements with guidance for use. — 2015.*
4. *U.S. Green Building Council. LEED v4 for Building Design and Construction. — 2013 (2016 жаңартулары).*
5. *BRE Global. BREEAM International New Construction. — 2016.*
6. *EXPO-2017 халықаралық көрмесінің материалдары «Future Energy». — Астана, 2017.*
7. *Zuo J., Zhao Z.-Y. Green building research—current status and future agenda: A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. — 2014.*
8. *Kazakhstan Green Building Council (KazGBC). Есентер мен жарияланымдар. — 2018–2023 жж.*
9. *Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings. — 19 May 2010 (2018 жылғы редакциясы).*

ӨОЖ 69.020.52:005.6

Шыналы Е., Смагулов М., М. Тынышбаев атындағы АЛТ Университеті
Мурзалина Г.Б., т.ғ.к., М. Тынышбаев атындағы АЛТ Университеті қауым. проф.

ИНВЕСТИЦИЯЛЫҚ-ҚҰРЫЛЫС ҚЫЗМЕТІН БАСҚАРУДАҒЫ АНАЛИТИКАЛЫҚ-ӘДІСТЕМЕЛІК ТӘСІЛДЕР МЕН БИЗНЕС-ПРОЦЕСТЕР МОДЕЛЬДЕРІ

Мақалада инвестициялық-құрылыс қызметін басқаруда қолданылатын қазіргі заманғы аналитикалық-әдістемелік тәсілдер мен бизнес-процестер модельдері қарастырылады. Жобалық талдау, бизнес-процестерді құрылымдау және басқарушылық шешімдердің тиімділігін бағалау әдістері зерттелді. Арнайы назар процесстік және жобалық тәсілдерді қолдануға, ақпараттық технологияларды пайдалана отырып бизнес-процестерді модельдеуге және инвестициялық-құрылыс жобаларын оңтайландыру әдістеріне аударылды. Қазақстан Республикасының құрылыс жобаларын басқарудағы заманауи әдістерді енгізу тәжірибесі қарастырылды. Негізгі мәселелер анықталып, құрылыс инвестицияларын басқаруды жетілдіру бағыттары ұсынылды.

Түйін сөздер: бизнес-процестер, инвестициялық-құрылыс қызметі, модельдеу, жобаларды басқару, аналитикалық тәсілдер, оңтайландыру, құрылыс жобалары, Қазақстан.

В статье рассматриваются современные аналитико-методические подходы и модели бизнес-процессов, применяемые в управлении инвестиционно-строительной деятельностью. Исследованы методы проектного анализа, структурирования бизнес-процессов и оценки эффективности управленческих решений. Особое внимание было уделено применению процессуального и проектного подходов, моделированию бизнес-процессов с использованием информационных технологий и методам оптимизации инвестиционно-строительных проектов. Рассмотрен опыт внедрения современных методов управления строительными проектами Республики Казахстан. Определены основные вопросы и предложены направления совершенствования управления строительными инвестициями.

Ключевые слова: бизнес-процессы, Инвестиционно-строительная деятельность, моделирование, управление проектами, аналитические подходы, оптимизация, строительные проекты, Казахстан.

The article discusses modern analytical and methodological approaches and business process models used in the management of investment and construction activities. The methods of project analysis, structuring business processes and evaluating the effectiveness of management decisions are investigated. Special attention was paid to the application of procedural and design approaches, modeling of business processes using information technology and optimization methods for investment and construction projects. The experience of introducing modern methods of construction project management in the Republic of Kazakhstan is considered. The main issues have been identified and directions for improving the management of construction investments have been proposed.

Keywords: business processes, Investment and construction activities, modeling, project management, analytical approaches, optimization, construction projects, Kazakhstan.

Кіріспе

Инвестициялық-құрылыс қызметі (ИКҚ) – бұл инвесторлар, мердігерлер және басқарушы ұйымдардың қатысуымен жылжымайтын мүлік нысандарын жобалау, салу және пайдалану процесінің кешені. ИКҚ-ны тиімді басқару үшін бизнес-процестерді талдау, ақпараттық және қаржылық ағындарды интеграциялау, сондай-ақ заманауи әдістемелік тәсілдерді қолдану қажет [1].

Соңғы жылдары құрылыс жобаларын жоспарлау мен бақылаудың тиімділігін арттыруға бағытталған аналитикалық-әдістемелік модельдерді енгізу өсіп келеді, бұл объектілердің капиталоемділігінің өсуімен және тәуекелдерді азайту қажеттілігімен түсіндіріледі [2].

Инвестициялық-құрылыс жобаларын басқарудағы негізгі тәсілдер

1. **Процесстік тәсіл** – жобадағы жұмыстардың ретін формализациялау және оңтайландыруға бағытталған, бизнес-процестер модельдерін (BPM) қолдану арқылы.

2. **Жобалық тәсіл** – объектілерді тәуелсіз жобалар ретінде басқару, мерзімдер, бюджет және ресурстарды ескеру (құралдар – CPM, PERT, Гант диаграммалары) [3].

3. **Жүйелік тәсіл** – инвестициялық-құрылыс қызметінің барлық элементтерінің өзара байланысын талдауға мүмкіндік береді [4].

4. **Кешенді-аналитикалық тәсіл** – басқарушылық шешімдер қабылдауға арналған экономикалық-математикалық модельдер, тәуекелдерді және сценарийлерді талдау [5].

1-кесте – Аналитикалық-әдістемелік тәсілдердің салыстырмалы сипаттамасы

Тәсіл	Мақсаты	Негізгі әдістер	Артықшылықтары	Шектеулері
Процесстік	Жұмыстардың айқынддылығын арттыру	BPM, бизнес-процестер схемалары	Басқаруды жақсартады	Процестерді сипаттаудың сапасына тәуелді
Жобалық	Объектіні басқару	CPM, PERT	Мерзімдерді нақты бақылау	Сыртқы факторларды есептемейді
Жүйелік	Кешенді көзқарас	Жүйелік динамика	Өзара байланыстарды ескереді	Модель құру күрделі
Аналитикалық	Болжау және оңтайландыру	Сценарийлік талдау	Тәуекелдерді болжау	Үлкен деректерді қажет етеді

Бизнес-процестерді модельдеу

Бизнес-процестерді модельдеу жобаның қатысушылар қызметін формализациялауға, рөлдерді бөлуге және әрекеттердің ретін анықтауға мүмкіндік береді. Ең көп тарағандар:

- **Функционалдық модельдер** – әр бөлімшенің міндеттерін сипаттайды;
- **Процесске бағытталған модельдер (BPMN)** – жұмыс ағынын және ақпараттық өзара әрекеттестікті визуализациялайды;
- **Желі модельдері** – маңызды жол мен тапсырмалардың тәуелділігін талдайды [5];
- **Ақпараттық модельдер (Enterprise Architecture, BIM)** – жоба, ресурстар, қаржы және құжаттама туралы деректерді біріктіреді [6].

Модельдер қамтамасыз етеді:

- жобаларды жүзеге асыру шығындары мен мерзімдерін азайту;
- айқындық пен басқарымдылықты арттыру;
- ERP, CRM және BIM сияқты цифрлық басқару жүйелерімен интеграция.

4. Қазақстан Республикасының тәжірибесі

Қазақстанда ИҚК басқаруда заманауи тәсілдер мемлекеттік цифрлық экономика және құрылыс саясаты шеңберінде енгізілуде, соның ішінде «Нұрлы Жол» бағдарламасы және «Қазақстан-2050» стратегиясы [7].

1. Жобалық және процесстік тәсілдерді қолдану

- ірі құрылыс компаниялары инфрақұрылым объектілері үшін желілік жоспарлау (CPM, PERT) қолданады, соның ішінде көлік дәліздері және қоғамдық ғимараттар;
- BPM шешімдерін қолдану жобадағы келісу және құжат айналымын формализациялауға мүмкіндік береді.

2. Басқаруды цифрландыру

- EXPO 2017 объектілерін, сондай-ақ тұрғын үй және коммерциялық кешендерді салуда BIM модельдеуді белсенді енгізу;
- ірі корпорациялар ERP жүйелерін қолдану арқылы бюджетті, ресурстарды және мерзімдерді бақылау [8].

3. Тиімділікті бағалау әдістемелері

- құрылыс жобаларын талдау үшін KPI енгізу: жүзеге асыру мерзімі, бюджетке сәйкестік, сапа және тәуекел деңгейі;
- құрылыс ұйымдары үшін әдістемелік ұсыныстарды Индустрия және инфрақұрылымдық даму министрлігі әзірлейді [7].

2-кесте – Қазақстандағы BPMN және BIM мысалдары

Жоба	Қолданылған әдістер	Жетістіктер
EXPO 2017 (Астана)	BPM, BIM, CPM	Кешенді интеграция, мерзімдерді бақылау
Астана LRT	ERP, BIM	Бюджет пен ресурстарды оңтайландыру
Алматыдағы тұрғын үй кешені	BPMN	Құжат айналымын жақсарту

Мәселелер мен даму бағыттары

Іске асырудың оң динамикасына қарамастан, келесі мәселелер бар:

- бизнес-процестердің стандартталуы жеткіліксіз;
- қатысушылар арасындағы ақпараттық жүйелердің бөлшектілігі;
- BPM және BIM саласындағы мамандардың жетіспеушілігі;
- шағын және орта бизнес үшін аналитикалық оңтайландыру модельдерін қолданудың шектеулі болуы [7; 8].

Даму перспективалары:

- барлық санаттағы жобаларда BIM/ERP құралдарын кеңінен енгізу;
- сала бойынша процестердің әдістемелік базасын құру;
- мамандардың біліктілігін арттыру және цифрлық әдістерді үйрету;
- бюджетті, мерзімдерді және тәуекелдерді болжау үшін аналитикалық модельдерді интеграциялау.

Қорытынды

Аналитикалық-әдістемелік тәсілдер мен бизнес-процестер модельдері инвестициялық-құрылыс қызметін тиімді басқарудың ажырамас бөлігі болып табылады. Қазақстан Республикасының тәжірибесі процесстік тәсіл, цифрлық модельдер (BIM, ERP) және KPI-бағдарланған модельдерді енгізу жобаларды басқаруды жақсартып, тәуекелдерді азайтып, ресурстарды оңтайландыратынын көрсетеді. Болашақта жетілдіру үшін қазіргі аналитикалық тәсілдерді цифрландырумен және мамандардың кәсіби құзыреттерін дамытуымен үйлестіру қажет [1–8].

Әдебиеттер:

1. Кузнецов В.А. Управление инвестиционно строительной деятельностью: теория и практика. – М.: Стройиздат, 2020.
2. Головин А. В. Бизнес-процессы в строительстве: методы и модели. – СПб.: Питер, 2019.
3. Hammer M., Champy J. Reengineering the Corporation. – HarperBusiness, 2003.
4. ISO 21500:2012. Guidance on project management. – 2012.
5. BPMN 2.0 Specification. Object Management Group (OMG). – 2011.
6. Eastman C. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling. – Wiley, 2018.
7. Қазақстан Республикасының Индустрия және инфрақұрылымдық даму министрлігі. Инвестициялық-құрылыс жобаларын басқару бойынша әдістемелік ұсыныстар. – 2021.
8. Қазақстандағы ірі құрылыс компанияларының BPM/BIM енгізу туралы есептері – 2019–2024 жж.

3.3 СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА И НАДЕЖНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ

UDC 624.014

Aldisheva D.N., student of group PZS-34, L.N. Gumilyov Eurasian National University
Muzdybayeva T.K., PhD, Senior Lecturer, L.N. Gumilyov Eurasian National University

CALCULATION AND DESIGN OF A FIELD SPLICE FOR A LARGE-SPAN STEEL MAIN BEAM USING HIGH-STRENGTH BOLTS

The article discusses the design of a field splice for a 15-meter steel main beam. The calculation of the flange and web splices using high-strength bolts was performed.

Keywords: steel main beam, field splice, high-strength bolts, friction-grip connection, bending moment, structural mechanics, welded I-beam, load-bearing capacity.

Бұл мақалада 15 метрлік болат бас арқалықтың монтаждық түйіспесін жобалау қарастырылған. Жоғары беріктікті бұрандамаларды пайдалана отырып, сөрелер мен қабырғалардың түйіспесі есептелді.

Түйін сөздер: болат бас арқалық, монтаждық түйіспе, жоғары беріктікті бұрандамалар, үйкеліс қосылысы, иілу моменті, құрылыс механикасы, дәнекерленген қос тавр, көтергіштік қабілет.

В данной статье рассмотрено проектирование монтажного стыка 15-метровой стальной главной балки. Выполнен расчет стыка полок и стенки на высокопрочных болтах.

Ключевые слова: *главная стальная балка, монтажный стык, высокопрочные болты, фрикционное соединение, изгибающий момент, строительная механика, сварной двутавр, несущая способность.*

According to the fundamental laws of engineering and structural mechanics, the analysis of any building frame begins with the accurate determination of internal forces and support reactions. As emphasized in the theoretical studies [1, 2], the correct determination of shear forces in statically determinate large-span beam systems is the key to the reliability of splice connections, as these zones are the most stressed.

Based on these theoretical principles, as well as modern design methodologies for metal structures [3, 4], the construction of large-span industrial working platforms faces a significant logistical challenge and the design of a steel beam grid begins with the selection of the optimal structural layout. The transportation of structural members exceeding 12 meters is severely limited. Therefore, a designed main beam with a span of 15 m must be divided into shipping elements and subsequently assembled on-site using a field splice. Working platforms are widely used in industrial construction, and their overall spatial reliability depends heavily on the correct transfer of loads from the secondary and main beams to the columns. The purpose of this work is to establish the structural layout for a 45x19.5 m working platform and to perform a detailed calculation of the field splice of the large-span (15 m) main beam using high-strength bolted connections, ensuring structural safety and logistical feasibility.

Following the structural design guidelines, a steel working platform with overall plan dimensions of 45x19.5 m was designed. The general beam grid is arranged according to a 3x3 layout, meaning the structural grid has a main column spacing of 15000x6500 mm with a standard live load of 28 kPa (Fig. 1).

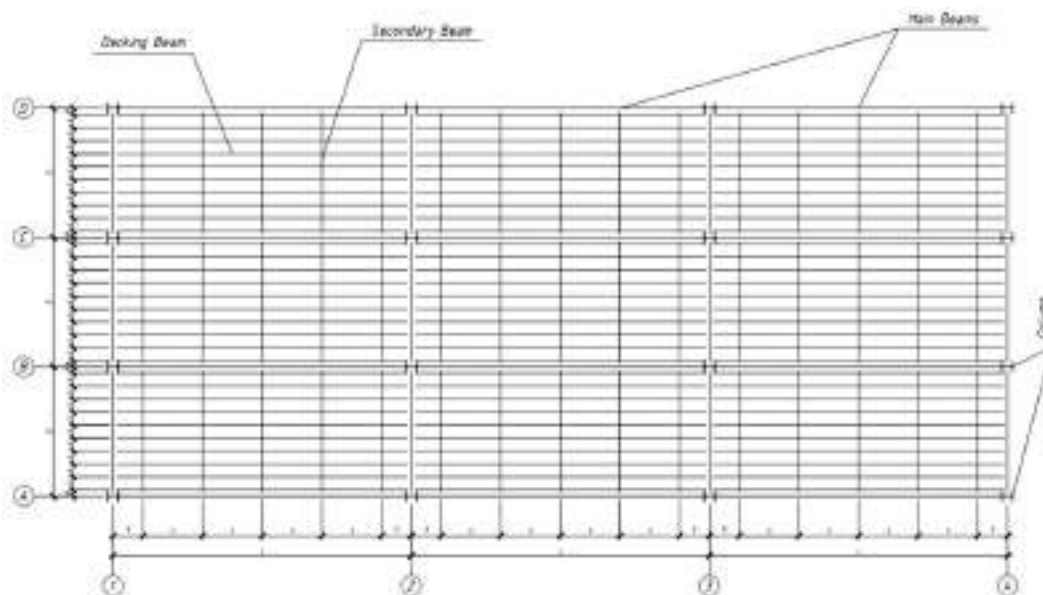


Figure 1 – General layout of the beam grid.

The main beam is designed as a composite I-beam made of C275 steel in accordance with GOST 27772-2015 [5]. The connection of the beam flanges to the web is performed by automated arc welding in shielding gas in compliance with GOST 14771-76* [6].

Based on the static analysis [1], the maximum internal forces at the mid-span are:

Bending moment:

- Bending moment $M_{max} = 6896.25$ kNm;
- Shear force: $V_{max} = 1839$ kN.

To satisfy strength and rigidity requirements, the optimal cross-section of the main beam was established: web dimensions $h_w = 1640$ mm, $t_w = 12$ mm; flange dimensions $b_f = 500$ mm, $t_f = 30$ mm. The actual moment of inertia of the adopted section is $I_x = 2,532,994$ cm⁴ (Fig. 2).

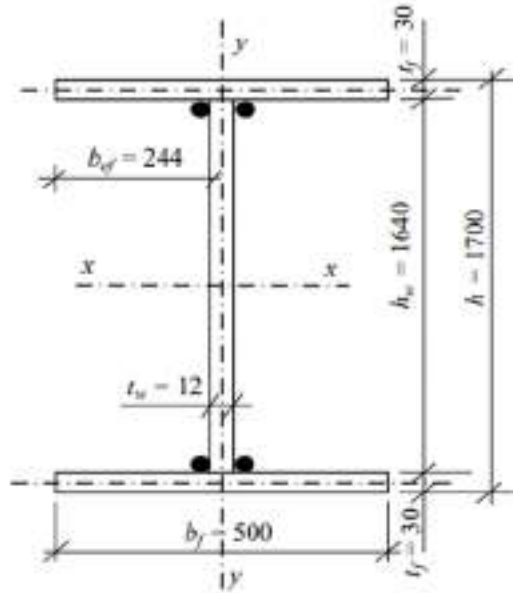


Figure 2 – Typical cross-section of the main beam.

The field splice is located at the mid-span, where the maximum bending moment occurs. To ensure a rigid connection without element slip, a friction-grip joint using high-strength bolts ($d = 24$ mm, steel grade 40X "select") is implemented [7].

To accurately design the joint, the total bending moment must be distributed between the web and the flanges proportionally to their rigidities, in accordance with the fundamentals of structural mechanics [1, 2]. First, the moment of inertia of the web (I_w) is calculated:

$$I_w = \frac{t_w \cdot h_w^3}{12} = \frac{1.2 \cdot 164^3}{12} = 441,094 \text{ cm}^4.$$

The moment of inertia of the flanges (I_f) is determined as:

$$I_f = I - I_w = 2,532,994 - 441,094 = 2,091,900 \text{ cm}^4.$$

The portion of the bending moment resisted exclusively by the flanges (M_f) is calculated as:

$$M_f = \frac{M_{Ed} \cdot I_f}{I_x} = \frac{6896.25 \cdot 2091900}{2532994} = 5695.5 \text{ kNm}.$$

The moment M_f translates into a longitudinal force (N_f) acting on the flanges. With the distance between the flange centers $h_0 = 1.67$ m, the force is:

$$N_f = \frac{M_f}{h_0} = \frac{569550}{1.67} = 3410.4 \text{ kN}.$$

The sizes of the flange cover plates (overlays) are assigned according to the principle of equal strength [4]. Each flange is covered with three separate plates: one upper plate and two lower half-plates. Following the design requirements, the following dimensions were adopted:

- Upper cover plate: 500 *18 mm;
- Lower half-plates: 220 *18 mm (two pieces).

The total cross-sectional area of the overlays (A_{nf}) is calculated to ensure it exceeds the area of the base flange ($A_f = 50 * 3 = 150 \text{ cm}^2$):

$$A_{nf} = 50 * 1.8 + 2 * 22 * 1.8 = 169.2 \text{ cm}^2 > A_f = 150 \text{ cm}^2.$$

This condition prevents any weakening of the section at the joint. The design bearing capacity of a single high-strength bolt friction surface (Q_{bh}) is 132.9 kN [3]. Since the cover plates create two friction surfaces ($k=2$), the required number of bolts (n) for one side of the flange splice is:

$$n = \frac{N_f}{k * Q_{bh} * \gamma_c} = \frac{3410.4}{2 * 132.9 * 1.0} \approx 12.83.$$

To ensure symmetry and reliability, 14 bolts are adopted for each half of the flange connection.

The web splice transfers the remaining bending moment (M_w) and the shear force (Q):

$$M_w = M - M_f = 6896.25 - 5695.5 = 1200.75 \text{ kNm}.$$

Two bilateral vertical cover plates (thickness $2t_{w,av} \geq t_w$) are used to splice the web. The bolts are arranged in two vertical rows ($m=2$). The most stressed outermost bolt is verified by considering the vector sum of horizontal and vertical forces [3,7]:

- Horizontal force from the moment:

$$N_M = \frac{M_w * y_{max}}{m * \sum y_i^2};$$

- Vertical force from the shear:

$$N_Q = \frac{Q}{n_w};$$

- Resultant force verification:

$$N_{max} = \sqrt{N_M^2 + N_Q^2} \leq Q_{bh} * \gamma_c.$$

The mathematical verification proves that the adopted bolt arrangement is structurally sufficient. The final structural detailing of the splice is presented in *Figure 3*.

Conclusion

The structural design of the field splice confirms the reliability of the adopted solutions. By utilizing the static analysis data ($M = 6896.25 \text{ kNm}$), internal forces were physically distributed between the beam elements: the flanges take 5695.5 kNm, and the web takes 1200.75 kNm. The precise selection of cover plates based on the principle of equal strength ($A_{nf} = 169.2 > A_f = 150$) and the implementation of 14 high-strength bolts per flange side ensure structural integrity and continuous load transfer for the 15-meter large-span industrial platform.

Мақалада Еврокод EN 1993-1-1 бойынша орталық сығылуға жұмыс істейтін болат бағана есептелді. Иілгіштік пен келтірілген ұзындық ескеріліп, орнықтылығы тексерілді.

Түйін сөздер: болат бағана, сығылу, Еврокод, орнықтылық, орнықтылықты жоғалту.

В статье рассмотрен расчет стальной колонны на центральное сжатие по Еврокоду EN 1993-1-1. Выполнена проверка устойчивости с учетом гибкости и приведенной длины.

Ключевые слова: стальная колонна, сжатие, Еврокод, устойчивость, потеря устойчивости.

Steel columns [1] are one of the main load-bearing elements in building structures. Their reliability directly affects the safety and durability of the entire structure. Columns subjected to compression are especially critical because they may fail not only due to material strength but also due to loss of stability (buckling).

The Eurocode (EN 1993-1-1) provides a unified methodology for calculating steel structures. This paper focuses on the design of a centrally compressed steel column, considering both resistance and stability criteria.

Substituting this into the bending moment equation and considering the differential equation of the elastic curve:

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = -F_{cr} \cdot y, \quad (1)$$

leads to the classical Euler solution. Solving this equation results in the critical force:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{min}}{l^2}. \quad (2)$$

This expression shows that the critical force depends on the modulus of elasticity, the moment of inertia of the cross-section, and the column length.

In real structures, end conditions influence the stability behavior. Therefore, the concept of effective length is introduced:

$$l_0 = \mu l, \quad (3)$$

where μ is the effective length factor depending on support conditions.

Different support conditions lead to different values of μ , which significantly affect the critical load and overall stability of the column.

Another important parameter is the slenderness ratio:

$$\lambda = \frac{l_0}{i}, \quad (4)$$

where $i = \sqrt{\frac{I}{A}}$ is the radius of gyration.

These theoretical principles form the basis for the stability analysis of compressed members and are incorporated into modern design standards such as Eurocode EN 1993-1-1.

Calculation and design of the Cross-Section of a centrally compressed Built-Up column

Initial data: $l=6141$ mm – geometric length of the column; both ends of the column are hinged; column material – steel S245 according to GOST 27772-2015. The design scheme of the built-up column is shown in Fig. 1.1.

Required area of one chord (branch) of the built-up column $A \geq 74,29$ cm².

The cross-section of the column chord is adopted as two I-sections No. 45B1 according to GOST 26020-83.



Figure 1 – Design scheme of the built-up column.

Table 1 – Geometrical properties of I-section No. 45B1 (GOST 26020-83)

h, mm	B, mm	t_f , mm	t_w , mm	R, mm	A_c , mm ²	I_{yp} , cm ⁴	I_{zc} , cm ⁴	i_{yo} , cm	i_{zo} , cm	q_1 , kg/m
443	180	11	7,8	21	76,23	24940	1073,7	18,09	3.75	59,8

Design axial force including self-weight:

$$N_{Ed} = 2673,4 \text{ kN}.$$

The column chords are connected by lacing plates (batten plates). The preliminary slenderness of one chord is adopted as $\lambda_b = 25$ ($\lambda_b < \lambda_z$); otherwise, the chord may lose stability earlier than the built-up section as a whole (Fig. 1.2).

The slenderness of the column about the principal axis was determined: $\lambda = 33,95$

The spacing between the column chords was selected based on equal stability conditions and adopted as: $b = 400 \text{ mm}$

The main geometric parameters of the built-up column were adopted as follows: chord spacing 400 mm, clear distance 150 mm, lacing plate dimensions $320 \times 200 \times 10 \text{ mm}$, plate spacing 94 cm, and axis spacing 114 cm.

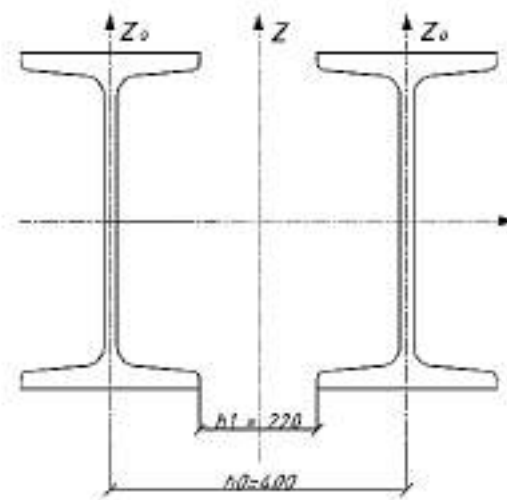


Figure 2 – Cross-section of the built-up column [2].

Based on the adopted geometric parameters, the effective moment of inertia of the built-up section and the radius of gyration were determined. The effective moment of inertia is $I_{eff} = 63131,4 \text{ cm}^4$, and the radius of gyration is $i_0 = 20,35 \text{ cm}$. The corresponding slenderness ratio is $\lambda = 30,18$.

The shear rigidity of the built-up column is $S_y = 26605,3 \text{ cm}^4$. This parameter was considered in the evaluation of the column stability.

Design force in one chord of a column with two identical chords [2]:

$$N_{ch,Ed} = 0,5N_{Ed} + \frac{M_{Ed} \cdot h_0 \cdot A_{ch}}{2I_{eff}} = 0,5 \cdot 2663,48 + \frac{3980,4 \cdot 40,0 \cdot 76,23}{2 \cdot 63131,4} = 1428 \text{ kN}.$$

Where

$$M_{Ed} = \frac{N_{Ed}e_0}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr}} \frac{N_{Ed}}{S_y}} = \frac{2663,48 \cdot 1,23}{1 - \frac{2663,48}{34661,4} \frac{2663,48}{26605,3}} = 3980,4 \text{ kN/cm}.$$

– design maximum bending moment at mid-height considering second-order effects;
 $M'_{Ed} = 0$ – without second-order effects.

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{eff}}{l^2} = \frac{3,14^2 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot 63131,4}{614,1^2} = 34661,4 \text{ kN},$$

– effective critical force of the built-up member.

$$e_0 = \frac{l}{500} = \frac{614,1}{500} = 1,23 \text{ cm},$$

– initial imperfection (Fig. 1.3).

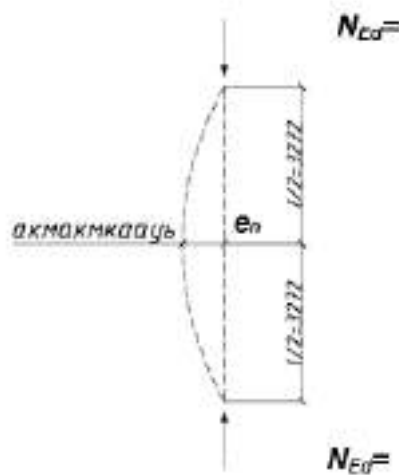


Figure 3 – Scheme for determining initial imperfection of the column [2].

For steel S245 ($f_y = 245 \text{ MPa}$), the cross-section was classified based on the width-to-thickness ratio. The web is classified as Class 4.

The effective cross-sectional area was determined considering local buckling of the web using reduction factors. The resulting effective area is $A_{eff} = 72 \text{ cm}^2$.

According to, buckling curve **b** is adopted for axis $z_0 - z_0$.

Buckling resistance was verified for both principal axes.

Reduction factors: $\chi_z = 0,98$, $\chi_y = 0,964$.

The governing value: $\chi_{min} = 0,964$.

Buckling about axis y-y

$$N_{ch,Rd} = \frac{X_{min} * A_{eff} * f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,964 * 72 * 24,5}{1,025} = 1659 \text{ kN}.$$

$$\frac{N_{ch,Ed}}{N_{ch,Rd}} = \frac{1428}{1659} = 0,86 < 1,0.$$

The load-bearing capacity of the column regarding buckling (longitudinal bending) is ensured.

The final verification confirmed that the designed column satisfies the requirements of Eurocode, ensuring sufficient load-bearing capacity and structural safety. The adopted design approach can be effectively applied in practical engineering calculations.

References:

1. Duzelbaev S.T. *Inzhenerlik mekhanika (Engineering Mechanics): textbook*. – Almaty, 2013. – 500 p.
2. Kudaibergenov N.B. *Zhumys alandarynyn metall konstruktsiyalaryn esepteu men zhobalau (Calculation and Design of Steel Structures): educational and methodological manual*. – Karaganda: Medet Group, 2025. – 138 p.

UDC 624.04:004.8

Ahmadi Krishna (Afghanistan), student of group 6B07302, Satbayev University
Dostanova S.Kh., PhD, Senior Lecturer, Scientific supervisor

DIGITALIZATION AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CONSTRUCTION MECHANICS

The article discusses the application of digitalization and artificial intelligence in structural mechanics for seismic analysis of building structures. Numerical methods and the finite element method are used to train AI models for fast prediction of the stress-strain state, internal forces, and displacements.

Keywords: artificial intelligence, structural mechanics, seismic analysis, finite element method

Мақалада құрылыс механикасында цифрландыру мен жасанды интеллектті ғимараттардың сейсмикалық талдауында қолдану қарастырылады. Жасанды интеллект модельдерін оқыту және кернеу-деформациялық күй мен ішкі күштерді жылдам анықтау үшін сандық әдістер мен шекті элементтер әдісі пайдаланылады.

Түйін сөздер: жасанды интеллект, құрылыс механикасы, сейсмикалық талдау, шекті элементтер әдісі.

В статье рассматривается применение цифровизации и искусственного интеллекта в строительной механике для сейсмического анализа зданий. Численные методы и метод конечных элементов используются для обучения моделей ИИ и быстрого определения напряженно-деформированного состояния и усилий.

Ключевые слова: искусственный интеллект, строительная механика, сейсмический анализ, метод конечных элементов

Introduction

The modern development of the construction industry is characterized by the active implementation of digital technologies and artificial intelligence methods [1-3]. Traditional methods of structural mechanics, based on analytical solutions and numerical methods, require significant computational resources and time, especially when calculating complex spatial structures and buildings operating under dynamic and seismic loads [4].

With the digitalization of design, there is a growing need to develop new methods for analyzing building structures to speed up calculations and improve their accuracy. One promising area is the use of artificial intelligence and machine learning methods to determine the stress-strain state of structures [5].

The use of artificial intelligence allows:

- reduce calculation time;
- automate the design process;
- increase the accuracy of calculations;
- perform a quick analysis of various design options.

This makes it possible to automate repetitive processes. It performs broader analysis of large volumes of data using neural networks with multiple hidden layers. Deep neural networks enable artificial intelligence to achieve unprecedented levels of accuracy, which undoubtedly plays a significant role in the economy [1-3].

The use of artificial intelligence is especially relevant in the calculation of frame buildings, floor slabs, frame structures, and structures located in seismically hazardous areas [2].

Artificial intelligence allows models to be trained based on existing calculations and predict the stress-strain state of structures without conducting a full numerical analysis. This significantly reduces calculation time and enables structural optimization.

AI and digitalization in structural mechanics are based on several key technological and scientific areas:

1. The foundations of digitalization are: the equations of structural mechanics, elasticity theory, the finite element method, and structural dynamics. Digitalization is based on: numerical methods, computer modeling, and computational mechanics.

The following programs are used: ANSYS, SAP2000, ETABS, ABAQUS [8,9].

These programs create data bases for training AI. The AI does not replace structural mechanics, but uses the calculation results for training. For example: slab calculations, frame calculations, frame building calculations, seismic calculations.

AI is based on: machine learning, neural networks, data analysis. Tools used: Python, TensorFlow, PyTorch, MATLAB.

AI is trained on: the results of calculations of experimental data, building monitoring data, seismic data. For example:

loads → efforts

loads → displacements

rigidity → period of oscillation

Digitalization is based on:

- digital models of buildings
- BIM technologies
- digital twins

Used:

- Autodesk Revit
- Tekla Structures
- Civil 3D

AI in construction mechanics works like this:

- 1) Calculations of structures are being carried out
- 2) Data is being received
- 3) AI is trained on this data.
- 4) AI begins to predict outcomes

For example:

Calculating 100 slabs using the finite element method, AI determines forces in seconds.

Digitalization allows:

1. speed up calculations;
2. automate design;
3. reduce errors;
4. optimize designs

Research results

This paper examines the application of artificial intelligence methods to seismic analysis of building structures. The study focuses on a frame building, whose load-bearing elements include floor slabs, beams, and columns.

To create a calculation model using AI, we will consider the seismic load transfer mechanism and the types of deformations in the load-bearing elements of a frame building. Figure 1 shows the load transfer diagram: initially, the seismic load is supported by the floor slabs, which act like a hard disk. Membrane forces are generated within them, which are transferred to the beams, which operate in two-plane bending and shear. These forces are then transferred to the columns, which operate in compression, two-plane bending, shear, and torsion.

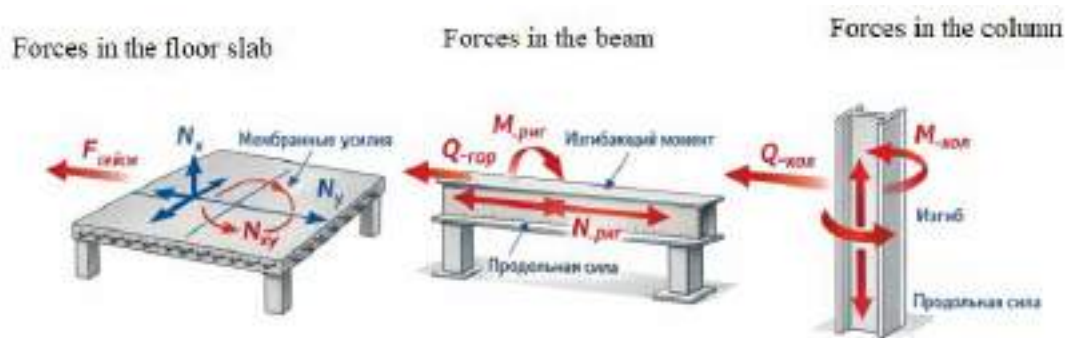


Figure 1 – Internal forces in load-bearing elements of a frame building from seismic horizontal impacts.

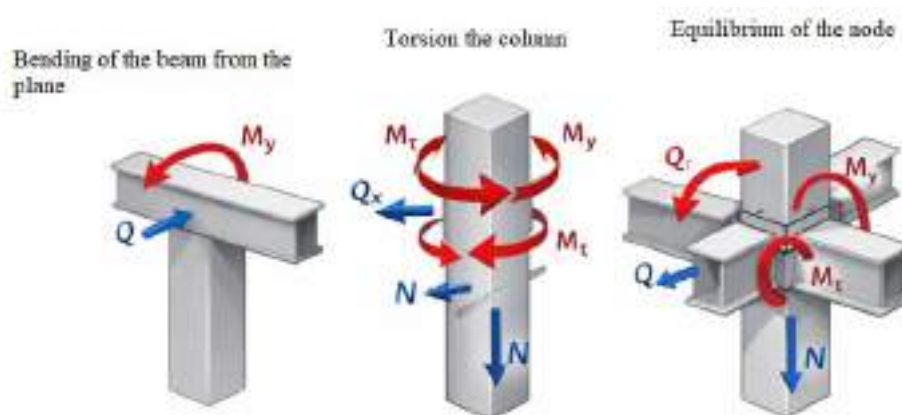


Figure 2 – Efforts in beams and columns under seismic horizontal effects, equilibrium at the node.

Figure 2 shows the bending in the beam, torsion in the column and the equilibrium of the node under the action of the seismic load Q .

To determine the forces in the load-bearing elements of a frame building, we use the equation of motion, where the unknown is the horizontal displacement at the nodes of the frame building – u [4-6].

$$Mu'' + Cu' + Ku = P(t) \quad (1)$$

where: M – is the mass matrix, C – is the damping matrix, K – is the stiffness matrix, u is the total horizontal displacement, $P(t)$ – is the dynamic load (seismic).

The stiffness matrix K – is the same as in statics. It describes the overall stiffness of the structure, including: beam bending, column bending, slab membrane action, slab shear, beam shear (if Timoshenko's theory is taken into account), and element torsion (if taken into account).

When calculating for seismicity, it is important to determine the natural frequencies, which do not depend on external influences and are determined from the frequency equation [4-6]:

$$\det([K] - \omega^2[M]) = 0 \quad (2)$$

In (2) ω is the natural frequency of vibrations of the frame building.

The dynamic equation (1) without taking into account damping in vector form has the form [6]:

$$[K]\{u\} + [M]\{u''\} = \{F(t)\} \quad (3)$$

where: $[K]$ – is the stiffness matrix, $[M]$ – is the mass matrix, $\{u\}$ – is the displacement vector (the dimension is determined by the degree of freedom), $F(t)$ – is the seismic load.

To solve equations (1-3), one can use modern software tools such as Python, MATLAB, as well as machine learning libraries such as TensorFlow and PyTorch [7-9].

A four-story reinforced concrete frame building is considered as an example. Key parameters: plan dimensions: 18×24 m, number of floors: 4, floor height: 3.3 m, column pitch: 6 m, columns: 40×40 cm, beams: 30×50 cm, floor slab thickness: 120 mm. Earthquake intensity: 9 points.

The finite element method is used for calculations. Table 1 shows the maximum bending moments that occur in the beams by floor. The lower floors have the greatest inertial forces, so the greatest bending moments occur there.

Table 1 – Maximum bending moments in beams

Floor	Bending moment
4	110 kN·m
3	150 kN·m
2	180 kN·m
1	210 kN·m

Table 2 shows the transverse forces in the beams depending on the number of storeys.

Table 2 – Transverse forces in beams depending on the number of storeys

Floor	Shear force
4	65 kN
3	90 kN
2	110 kN
1	135 kN

Longitudinal forces arise from the combined action of beams and columns. The distribution of longitudinal forces in columns depending on the number of storeys is presented in Table 3.

Table 3 – Distribution of longitudinal forces in columns depending on the number of storeys

Floor	Longitudinal force
4	40 kN
3	60 kN
2	80 kN
1	95 kN

Table 4 shows the maximum horizontal displacements across the floors of the building.

Table 4 – Maximum horizontal displacements on building floors

Floor	Horizontal displacement, mm
4	34
3	23
2	16
1	10

Conclusion

1. AI helps in selecting the optimal calculation model that takes into account the main factors affecting the strength and deformability of buildings and structures
2. A dynamic analysis of a four-story frame building under seismic impact was performed using an AI-generated calculation model.
3. As a result of numerical calculations, the most stressed and deformed floors of a frame building under seismic impact were identified.

Reference:

1. Goncharov, I.L., Sergeeva, L.A. *Artificial intelligence in construction* / I.L. Goncharov, L.A. Sergeeva // *Construction, Economics and Management*. – 2019. – No. 1 (33). – pp. 61-66.
2. Ivasyuk G.I., Lebedeva K.E.N. *New trends and innovations in the construction industry* // *Economic research and development*. – 2023. – No. 3-2. – pp. 116-121.
3. *Pride Group Real Estate: Artificial Intelligence in the Construction Industry: [Electronic resource]*. – Moscow: 6.06.2021 URL: <https://dzen.ru/a/ZH8aILXge2xVgr-X>. (Date of access: 10/25/2023).
4. Darkov A.V., Shaposhnikov N.N. *Structural Mechanics*. Moscow: St. Petersburg, Moscow-Krasnodar, Lan, 2012, 656 p.
5. Kisilev V.A. *Structural Mechanics. Dynamics and Stability of Structures*. Moscow: Stroyizdat, 2014, p. 616.
6. Kusainov A.A., Dostanova S.Kh., Polyakova I.M. *Dynamics and stability of structures. Study guide*. - Almaty, 2017. -236 p.
7. SP 14.13330 "Construction in Seismic Areas"
8. Eurocode 8 (EN 1998). *Design of buildings in seismic areas*,
9. *Pagespecific norms of the Republic of Kazakhstan on earthquake-resistant construction*.

Абзал Н.А., магистрант, Сатпаев университет
Достанова С.Х., д.т.н., профессор, Сатпаев университет

МОДЕЛИ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ ПЛИТЫ ПЕРЕКРЫТИЯ И ЭЛЕМЕНТОВ КАРКАСА

В работе рассмотрены модели совместной работы монолитных и сборных плит перекрытия и элементов каркаса. Представлены основные уравнения изгиба плит с различными сопряжениями с ригелями. В качестве примера рассмотрен расчет железобетонной прямоугольной плиты для 3-х случаев соединения с ригелями: жесткое, полужесткое и шарнирное. Представлены результаты численного расчета с использованием метода конечных элементов. Получены значения внутренних усилий и прогибов в самой плите и передаваемые усилия на ригель и колонны. Приведены сравнения результатов для монолитных и сборных плит, даны рекомендации для проектирования.

Ключевые слова: модели, монолитные и сборные плиты перекрытий, ригель, колонны, совместная работа, сопряжения.

Бұл мақалада монолитті және алдын ала жасалған еден плиталары мен жақтау элементтерінің бірлескен жұмыс істеу модельдері қарастырылған. Балкалармен әртүрлі қосылыстары бар плиталардың иілуіне арналған негізгі теңдеулер ұсынылған. Мысал ретінде арматураланған бетоннан жасалған тіктөртбұрышты плитаны балкалармен қосылудың үш түрі: қатты, жартылай қатты және біліктік үшін есептеу қарастырылады. Соңғы элемент әдісін қолдана отырып жүргізілген сандық есептеулердің нәтижелері ұсынылған. Плитадағы ішкі күштер мен деформациялар және балкалар мен бағаналарға берілетін күштердің мәндері анықталған. Монолиттік және алдын ала жасалған плиталар үшін нәтижелер салыстырылып, жобалау бойынша ұсыныстар берілген.

Түйін сөздер: модельдер, монолиттік және алдын ала жасалған еден плиталары, балкалар, бағаналар, біріктірілген жұмыс, жалғаулар.

This paper examines models of joint operation of monolithic and precast floor slabs and frame elements. Fundamental equations for slab bending with various beam connections are presented. As an example, the calculation of a reinforced concrete rectangular slab is considered for three beam connection cases: rigid, semi-rigid, and hinged. The results of numerical calculations using the finite element method are presented. The values of internal forces and deflections in the slab itself and the forces transmitted to the beams and columns are obtained. Results are compared for monolithic and precast slabs, and design recommendations are provided.

Keywords: models, monolithic and precast floor slabs, beams, columns, joint operation, connections.

Современное проектирование каркасных зданий характеризуется широким применением монолитных и сборно-монолитных перекрытий больших пролётов, которые фактически работают не как второстепенные элементы, а как активная часть несущей системы. Несмотря на это, в инженерной практике при расчёте на вертикальные нагрузки плиты перекрытий зачастую по-прежнему рассматриваются упрощённо – в виде равномерно распределённой нагрузки на ригели. Такой подход приводит к существенной идеализации расчётной схемы и не отражает реальную работу конструкции, особенно в зданиях с регулярной сеткой колонн; жёсткими или частично жёсткими узлами «плита – ригель»; замоноличенными или сварными соединениями плит.

Численные и экспериментальные исследования последних лет показывают, что тип граничных условий плиты перекрытия оказывает определяющее влияние на распределение изгибающих моментов; величину прогибов; передачу вертикальных нагрузок между плитой, ригелями и колоннами [1-6].

Особую актуальность данная проблема приобретает при проектировании зданий с пролетами 6–9 м и более, где двуправленная и мембранная работа плиты может приводить к снижению усилий в ригелях на 20–40% по сравнению с балочной схемой. Игнорирование этого эффекта, с одной стороны, вызывает избыточный расход материалов, а с другой – некорректную оценку напряжённо-деформированного состояния элементов каркаса.

Кроме того, действующие нормативные документы допускают учет совместной работы плит и каркаса, однако не содержат четких рекомендаций по моделированию полужёстких связей, что делает актуальным развитие расчетных подходов и их инженерную интерпретацию.

Целью данной работы разработать расчетные модели для совместной работы плит с ригелями и оценить влияние типа сопряжения плиты с ригелями на напряженное состояние несущих элементов каркасного здания для монолитных и сборных конструкций.

В дальнейшем в качестве примера будут рассмотрены монолитные и сборные плиты с различными видами сопряжения с ригелями.

Методы и материалы

Рассматриваются 2 расчетные модели плиты:

1. Плита как изгибаемая пластина на упругих опорах: ригеля представляют линейные упругие связи с жесткостью k_θ , согласно теории Кирхгофа-Лява, разрешающее уравнение для прямоугольной плиты с размерами a, b в плане имеет следующий вид [7-9]:

$$D\nabla^4 w + k_\theta w = q \quad \text{где} \quad D = Eh^3/12(1-\nu^2) \quad (1)$$

где $w(x, y)$ – прогиб плиты;

2. Единая пространственная система “плита-ригели-колонны” (узлы – жёсткие или полужёсткие). Уравнение равновесия [9]:

$$K \begin{bmatrix} u \\ w \\ \varphi \end{bmatrix} = F \quad (2)$$

u – смещение в срединной плоскости, $\varphi = \varphi(x, y, z)$ – это формообразующая функция, которая описывает, как распределяется перемещение, прогиб или поворот по пространству конструкции, при выбранном способе аппроксимации

При аппроксимации перемещений:

$$w(x, y) = \sum_{i=1}^n q_i \varphi_i(x, y) \quad (3)$$

q_i – обобщённые перемещения (амплитуды); $\varphi_i(x, y)$ – аппроксимирующие (базисные) функции.

Для решений уравнений (1, 2) используют следующие базисные функции, удовлетворяющие граничным условиям:

Для жесткого соединения [7-8]:

по краям

$$w = 0, \theta = \frac{\partial w}{\partial n} = 0 \quad (4)$$

$$\phi_{mn}(x, y) = x^m (a - x)^m \cdot y^n (b - y)^n$$

$m, n = 1, 2, \dots$

Для полужесткого соединения:

Здесь прогиб на опоре = 0, но наклон не нулевой, а пропорционален моменту:

при $x=0$; $w=0$, $M_x = k_\theta \theta$,

при $x=a$; $w=0$, $M_x = k_\theta \theta$,

и по краям $y=0$; $y=b$,

где k_θ – вращательная жёсткость опоры.

Базисные функции в правой части обычно корректируются через «упругие» функции: синусоиды можно использовать с коэффициентами, подгоняемыми по полужесткости. В МКЭ часто используют базисные функции кубической формы с параметром упругой фиксации [9].

Для шарнирного соединения [7-8]: на опорах прогибы и моменты равны нулю.

$$\phi_{mn}(x, y) = \sin \frac{m\pi x}{a} \cdot \sin \frac{n\pi y}{b}, \quad m, n = 1, 2, \dots \quad (5)$$

Результаты и обсуждение

В качестве примера рассматривается ж/б плита с размерами в плане 18х18м, толщина: $h=200$ мм; бетон: В30; нагрузка: собственный вес ≈ 5 кН/м², полезная = 4 кН/м², итого: $q=9$ кН/м²; шаг ригелей: 6 м × 6 м.

Получены результаты расчета для монолитной и сборных плит для 3-х случаев соединения плит с ригелями: жесткое, полужесткое и шарнирное. В таблице 1 представлены максимальные изгибающие моменты и прогибы в плите, изгибающие моменты в ригелях, продольные усилия в колоннах для 3-х случаев соединения. Полужесткое соединение характеризуется жесткостью на повороты

$$k_\theta [M_x^{max} = M_y^{max} = k_\theta \cdot \theta, k_\theta = [0.1 - 0.3]/EI]. \quad (6)$$

Таблица 1 – Максимальные изгибающие моменты кНм, прогибы в плите мм, изгибающие моменты в ригелях кНм, продольные усилия в колоннах кН

Вид соединения плиты с ригелями	Монолитные плиты				
	Изгибающие моменты в плите, кНм $M_x^{max} = M_y^{max}$	Крутящий момент, кНм M_{xy}^{max}	Прогибы в плите, мм w	Изгибающий момент в ригелях, М ^{max}	Продольная сила в колоннах, N ^{max}
Жесткое	14-15	4-5	14--18	25--30	450-500
Полужесткое	18-22	2-3	20-25	30-35	480-530
Шарнирное	38-42	0	30-35	40-45	520-580
	Сборные плиты				
	Изгибающие моменты в плите, кНм $M_x^{max} = M_y^{max}$	Крутящий момент, кНм M_{xy}^{max}	Прогибы в плите, мм w	Изгибающий момент в ригелях, М ^{max}	Продольная сила в колоннах, N ^{max}
Жесткое	18-22		20-25	30-35	
Полужесткое	30-35		25-30	35-40	
Шарнирное	40-45		30-35	40-45	

Практическая значимость выполненного исследования заключается в возможности корректного выбора расчетной схемы перекрытий в зависимости от конструктивного решения и стадии проектирования.

Полученные результаты позволяют: количественно оценивать влияние типа сопряжения плиты с ригелями. Показано, что переход от жёсткого к шарнирному соединению может приводить: к увеличению изгибающих моментов в плите и ригелях до 2–3 раз; к росту прогибов перекрытий на 50–100 %.

При учете совместной работы монолитной плиты: снижаются расчетные моменты в ригелях; перераспределяется нагрузка в пользу колонн; уменьшаются прогибы перекрытий.

Полученные результаты могут использоваться: при выборе типа перекрытия (монолитное / сборное); при назначении толщины плиты; при оценке необходимости усиления ригелей или узлов.

Корректный учет граничных условий позволяет более точно прогнозировать: прогибы; раскрытие трещин; перераспределение усилий при длительных нагрузках.

Таким образом, представленный подход имеет прямое прикладное значение для проектных организаций и может быть использован при разработке рабочих и стадийных проектов. На основании проведенного анализа можно сформулировать следующие выводы и практические рекомендации.

Вывод

1. Учет совместной работы плит перекрытий и элементов каркаса при вертикальных нагрузках является необходимым условием достоверного определения напряженно-деформированного состояния каркасных зданий. Тип граничных условий плиты определяет характер перераспределения нагрузок и должен рассматриваться как один из ключевых параметров расчетной модели.

2. При выборе расчетной схемы для монолитной железобетонной плиты не допускается моделировать плиту исключительно как нагрузку, плита должна учитываться как оболочечный элемент с работой усилий в срединной поверхности, соединение с ригелями рекомендуется задавать как жесткое на стадии предварительного проектирования и полужесткое при рабочем проектировании.

3. При выборе расчетной схемы для сборных перекрытий необходимо учитывать податливость стыков, допускается упрощенная схема только при документально подтвержденной шарнирности опирания, при замоноличивании швов следует рассматривать квазимонолитную работу.

Литература:

1. Бузыкаева, Е.С. Совместная работа железобетонных плит перекрытий и стальных балок / Е.С. Бузыкаева. // Молодой ученый. — 2016. — № 27 (131). — С. 57-60. — URL: <https://moluch.ru/archive/131/36574>.
2. Расчет сборных железобетонных плит перекрытия: методические указания для самостоятельной работы / Н.Н. Ласьков. — Пенза: ПГУАС, 2015. — 23 с.
3. Кузнецов В.С. Железобетонные конструкции многоэтажных зданий: Учебное пособие. — М.: Издательство АСВ, 2013. — 200 с.
4. Кудинов О.В. Новый подход к оценке прочности сталежелезобетонных перекрытий // Бетон и железобетон. — 2010. — №2 (563). — С. 14-16.
5. Рекомендации по расчету плит перекрытий крупнопанельных зданий с учетом пространственной работы.
6. Басов Ю.К., Малое А.Н. Расчет монолитных железобетонных плит перекрытий. — 2011. <https://cyberleninka.ru/article/raschet-monolitnyh-z...>
7. Александров А.В., Потапов В.Д. Основы теории упругости, пластичности. — М.: Высшая школа, 2013. — 400 с.
8. Тимошенко С.П., Дж. Гудьер. Теория упругости. — М.: Наука, 2010. — 560 с.
9. Достанова С.Х., Касымова Г.Т. Расчет плит методом конечных элементов: Учебно-метод пособие. — Алматы: КазГАСА, Изд. дом «Hit Print», 2014. — 144 с.

Бейбіт Б.Б., ХБК (ҚазБСҚА) РПЗС-23-9 тобы студенті
Тулегенова О.Е., т.ғ.м., ХБК (ҚазБСҚА) профессор ассистенті

3D-ПРИНТЕР ТЕХНОЛОГИЯСЫНЫҢ ҚҰРЫЛЫС БҰЙЫМДАРЫНЫҢ МЕХАНИКАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫНА ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

Бұл мақалада құрылыс саласындағы аддитивті технологиялардың, атап айтқанда 3D-принтердің дайын бұйымдардың беріктік көрсеткіштеріне әсері қарастырылады. Зерттеу барысында толтыру тығыздығы мен басып шығару бағытының механикалық анизотропияға ықпалы талданды. Жүргізілген симуляциялық есептеулер конструкциялық элементтердің тиімді параметрлерін анықтауға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: 3D-бетон басу, аддитивті технологиялар, беріктік сипаттамалары, толтыру тығыздығы, механикалық анизотропия, басып шығару бағыты, инфилл (infill), симуляциялық есептеулер, конструкциялық элементтер.

В данной статье рассматривается влияние аддитивных технологий в строительстве, в частности 3D-печати бетоном, на прочностные характеристики готовых изделий. В ходе исследования проанализировано влияние плотности заполнения и направления печати на механическую анизотропию. Проведенные симуляционные расчеты позволяют определить оптимальные параметры конструктивных элементов.

Ключевые слова: 3D-печать бетоном, аддитивные технологии, прочностные характеристики, плотность заполнения, механическая анизотропия, направление печати, инфилл (infill), симуляционные расчеты, конструктивные элементы.

This article examines the impact of additive technologies in construction, specifically 3D concrete printing, on the strength characteristics of finished products. The study analyzes the influence of infill density and printing direction on mechanical anisotropy. The performed simulation calculations allow determining the optimal parameters for structural elements.

Keywords: 3D concrete printing (3DCP), additive manufacturing, strength characteristics, infill density, mechanical anisotropy, printing direction, infill, simulation calculations, structural elements.

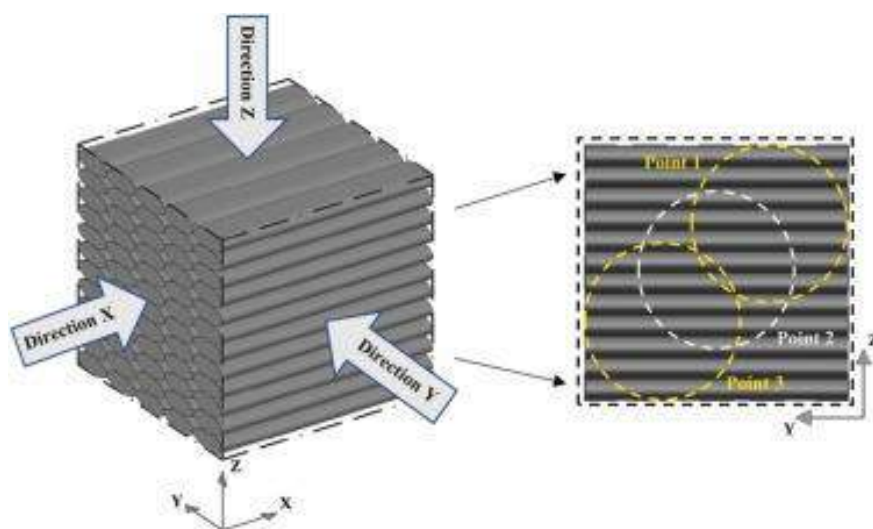
Қазіргі заманғы құрылыс индустриясы материалдарды үнемдеу мен геометриялық формаларды жүзеге асыруды талап етеді. Дәстүрлі бетон құю әдістері қалыптарды (опалубка) қажет етеді, бұл жалпы шығындардың 10-20%-ын, ал жұмыс уақытының 40%-на дейін құрайды. Аддитивті технологиялар (3D-басып шығару) қалыпсыз конструкциялауға мүмкіндік беріп, өндіріс циклін айтарлықтай қысқартады. Алайда, қабаттық салу әдісі материалдың монолиттілігіне әсер етіп, оның механикалық сипаттамаларын өзгертеді. Сондықтан 3D-бұйымдардың беріктігін зерттеу – инженерлік жобалаудың өзекті мәселесі.

3D-бетонды басып шығаруда (3DCP) механикалық қасиеттер материалдың құрамына ғана емес, басып шығару параметрлеріне де тәуелді.

1. **Қабат қалыңдығы:** қабат неғұрлым жұқа болса, қабаттар арасындағы адгезия (жабысу) соғұрлым жоғары болады, бірақ бұл басып шығару уақытын ұзартады.

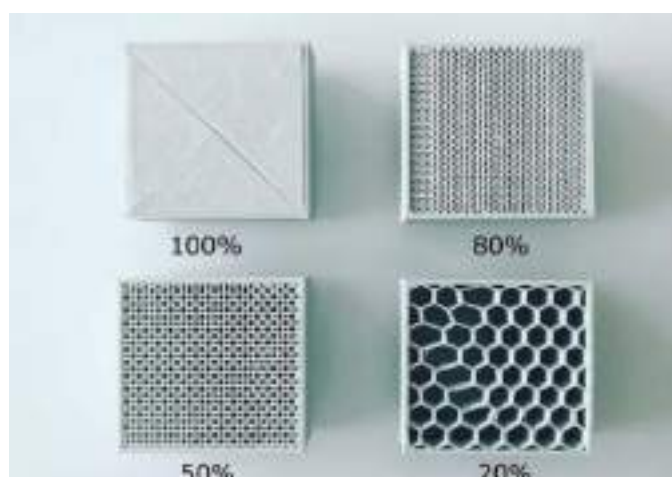
2. **Толтыру тығыздығы:** құрылыс элементтерінің ішкі бөлігін торлы құрылыммен толтыру арқылы салмақты азайтып, беріктікті оңтайландыруға болады.

3. **Анизотропиялық қасиеттер:** 3D-басып шығарылған бетон бұйымдары – бұл изотропты емес, жұқа құрылым. Жүктеме басып шығару бағытына перпендикуляр түскенде, бұйым жоғарғы сығылу беріктігін көрсетеді. Ал жүктеме қабаттардың арасына түскенде, ығысу қаупі артып, беріктік 20-30%-ға төмендеуі мүмкін (*1-сурет*) [1], [3].



1-сурет – 3D-басып шығарылған бетон бұйымдарына күштің әсер ету бағыттары.

Тәжірибелік зерттеу ретінде модификацияланған ұсақ түйіршікті бетон қоспасынан басып шығарылған 100x100x100 мм текше үлгілерінің симуляциялық деректерін стандартты әдіспен құйылған монолит бетон үлгісінің нәтижесімен салыстырамыз (2-сурет). Тәжірибе нәтижесінен біз дәстүрлі монолитті құрылым мен 3D-баспаның ұяшықты құрылымының айырмашылығын айқын көре аламыз.



2-сурет – Толтыру тығыздығы.

Зертханалық жұмыстың нәтижелерін талдау және салыстыру үшін біз 3D-басып шығарылған бұйымдардың механикалық қасиеттерін бағалауға арналған **Гибсон-Эшби (Gibson-Ashby) математикалық моделін** қолдандық [4]. Бұл модель толтыру тығыздығы мен беріктік арасындағы сызықты емес тәуелділікті көрсетеді.

Есептеудің теориялық негізі

Дәстүрлі қалыппен құйылған монолитті бетон текшесінің беріктігін (базалық көрсеткіш) шартты түрде **30 МПа** деп алайық (бұл В22.5 – В25 класты бетонның орташа текшелік беріктігіне сәйкес келеді).

Гибсон-Эшби формуласы келесідей:

$$\sigma_{3D} = \sigma_{\text{мон}} \cdot C \cdot \left(\frac{\sigma_{3D}}{\sigma_{\text{мон}}}\right)^n \quad (1.1),$$

мұндағы σ_{3D} – 3D басып шығарылған текшенің есептелген беріктігі; $\sigma_{\text{мон}}$ – дәстүрлі монолитті текшенің беріктігі (30 МПа); $\frac{\sigma_{3D}}{\sigma_{\text{мон}}}$ – салыстырмалы тығыздық (яғни 20%, 50%, 80% толтырулар); C – торкөзді құрылымның геометриялық коэффициенті (стандартты түрде $C \approx 1$ деп алынады); n – ұяшықтардың геометриясына тәуелді құрылымдық көрсеткіш. 3D-баспаның торкөзді құрылымы үшін $n = 1.5$ мәні қабылданды.

Есептеу нәтижелері

Дәстүрлі монолитті құю (100%): бұл біздің максималды беріктігіміз.

$$\sigma_{\text{мон}} = 30 \text{ МПа.}$$

80% толтыру тығыздығы: бұл режим материалды аздап үнемдей отырып, максималды жүк көтерімділікті сақтауға бағытталған.

$$\sigma_{80\%} = 30 \cdot 1 \cdot \left(\frac{80}{100}\right)^{1.5} \approx 21.46 \text{ МПа.}$$

50% толтыру тығыздығы: бұл ең оңтайлы теңгерім (баланс) нүктесі.

$$\sigma_{50\%} = 30 \cdot 1 \cdot \left(\frac{50}{100}\right)^{1.5} \approx 10.60 \text{ МПа.}$$

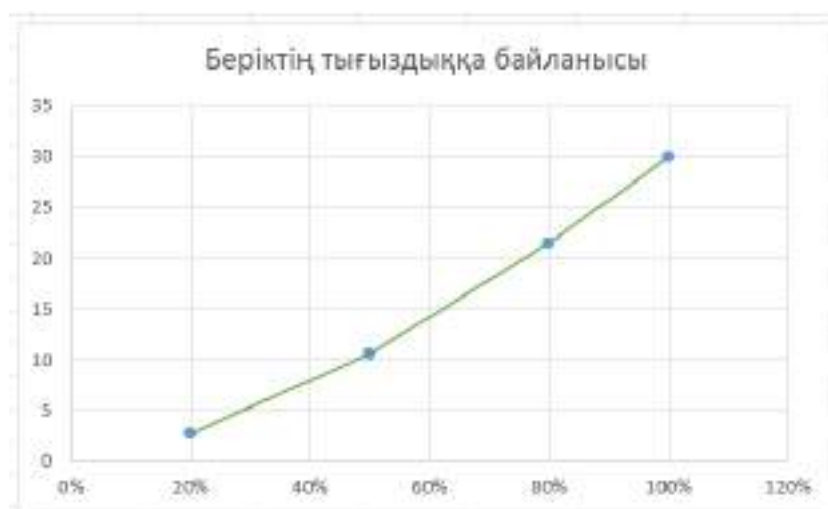
20% толтыру тығыздығы: материал өте аз жұмсалады, алайда бұйым тек өзінің көтеретін немесе белгіш (қоршау) конструкциялар үшін ғана жарамды.

$$\sigma_{20\%} = 30 \cdot 1 \cdot \left(\frac{20}{100}\right)^{1.5} \approx 2.68 \text{ МПа.}$$

Төмендегі кестеде толтыру тығыздығының сығылу беріктігіне әсері көрсетілген:

1-кесте – Толтыру тығыздығының сығылу беріктігіне әсері-к

Толтыру тығыздығы (%)	Меншікті салмақ (кг/м³)	Орташа сығылу беріктігі (МПа)	Материалды үнемдеу (%)
20%	650	2.68	70%
50%	1200	10.6	45%
80%	1950	21.46	15%
100%	2300	30.0	0%



3-сурет – Толтыру тығыздығының сығылу беріктігіне әсерінің графигі.

Толтыру тығыздығын 50%-ға азайтқанда, материал 50% үнемделеді, бірақ беріктік шамамен 65%-ға (30 МПа-дан 10 МПа-ға) төмендейді (3-сурет). Бұл өте маңызды конструктивтік шешім: материал үнемдеу әрқашан беріктіктің пропорционалды емес, күрт түсуіне әкеледі. Біздің есептеуіміз идеалды жағдайды көрсетеді. Іс жүзінде, 3D-басылған текшені сынайтын кезде күштің түсу бағыты маңызды. Қабаттарға перпендикуляр күш түскенде беріктік жоғарырақ болады, ал қабаттарға параллель күш түскенде (қабат аралық адгезияның әлсіздігіне байланысты) үлгі тезірек қирайды. Дәстүрлі монолитті бетон, керісінше, барлық бағытта бірдей беріктікке ие (изотропты). 80% толтырумен басылған өнімдерді белгілі бір дәрежеде жүк көтеретін элементтер (мысалы, қалыпсыз басып шығарылатын кішігірім қабырғалар) ретінде қарастыруға болады. Ал 20% және 50% тек сәулеттік пішіндер немесе ішкі толтырғыштар (оқшаулағыш қабаттар) үшін тиімді.

Әдебиеттер:

1. Buswell, R.A., et al. (2018). "3D printing using concrete extrusion: A review". *Automation in Construction*, Vol. 91, pp. 141-158.
2. Асқаров Б.А. Құрылыс материалдары мен бұйымдары: Оқулық. – Алматы: Эверо, 2021.
3. Nematollahi, B., et al. (2017). "Current status and future of 3D concrete printing in construction". *Case Studies in Construction Materials*.
4. Gibson L.J., Ashby M.F. *Cellular Solids: Structure and Properties*. – Cambridge: Cambridge University Press, 1997. – 510 p.

УДК 624.04+624.07

Бурамбаев А.А., магистрант, Satbayev University
Достанова С.Х., д.т.н., профессор, Satbayev University

АНАЛИЗ ДЕФОРМАЦИЙ ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК С УЧЕТОМ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЯХ

В работе рассматриваются пологие железобетонные оболочки с учетом геометрической нелинейности при различных граничных условиях. Представлены разрешающие уравнения, функции напряжений и прогибов. Получены результаты расчетов по прогибам и мембранным деформациям для линейного и нелинейного решения с учетом различных вариантов граничных условий: жесткое, полужесткое и шарнирное опирание, сделан анализ деформаций. Сделаны сравнения и проведен анализ результатов.

Ключевые слова: пологая оболочка, геометрическая нелинейность, изгибные и мембранные деформации, граничные условия.

Бұл жұмыста әр түрлі шекаралық жағдайларда геометриялық бейсызықты ескере отырып, таяз темірбетон қабықшалары қарастырылады. Басқарушы теңдеулер және кернеу мен ауытқу функциялары берілген. Ауысулар мен мембраналық деформацияларды есептеу нәтижелері әртүрлі шекаралық жағдайларды ескере отырып, сызықтық және сызықты емес шешімдер үшін алынады: қатты, жартылай қатты және топсалы тірек. Деформациялық талдау жүргізіледі. Салыстырулар жүргізіліп, нәтижелер талданды.

Түйін сөздер: таяз қабық, геометриялық сызықтық еместік, иілу және мембраналық деформациялар, шекаралық шарттар.

This paper examines shallow reinforced concrete shells taking geometric nonlinearity into account under various boundary conditions. Governing equations and stress and deflection functions are presented. Calculation results for deflections and membrane deformations are obtained for linear and nonlinear solutions, taking into account various boundary conditions: rigid, semi-rigid, and hinged support. A deformation analysis is performed. Comparisons were made and the results were analyzed.

Keywords: shallow shell, geometric nonlinearity, flexural and membrane deformations, boundary conditions.

Пологие оболочки больших пролетов широко применяются в современном строительстве покрытий общественных и промышленных зданий, как несущие элементы благодаря их высокой несущей способности, архитектурной выразительности и экономичности. Однако при малых значениях стрелы подъема и относительно больших пролётах такие конструкции работают в условиях значительных прогибов, при которых предпосылки линейной теории оболочек оказываются недостаточно точными.

В этих условиях геометрическая нелинейность, обусловленная соизмеримостью перемещений с толщиной оболочки и изменением её расчетной схемы в процессе деформирования, начинает оказывать существенное влияние на напряженно-деформированное состояние конструкции. Пренебрежение данным фактором может приводить к занижению прогибов, искажению распределения мембранных и изгибных усилий, а также к некорректной оценке запаса несущей способности [1-5].

Особую значимость проблема приобретает при наличии различных граничных условий – жесткого, шарнирного и упругоподатливого закрепления контура. Условия опирания существенно влияют на перераспределение усилий между мембранной и изгибной работой оболочки, а в нелинейной постановке их влияние усиливается и носит качественно иной характер по сравнению с линейным расчетом. На практике граничные условия часто являются промежуточными и зависят от совместной работы оболочки с диафрагмами, ригелями или опорными контурами здания.

В инженерной практике до настоящего времени нередко используются линейные модели, не учитывающие реальное влияние геометрической нелинейности и условий закрепления. В этой связи актуальной является задача систематического анализа влияния геометрической нелинейности на деформации пологих оболочек при различных граничных условиях, с целью уточнения расчетных моделей, выявления пределов применимости линейной теории и выработки практических рекомендаций для проектирования оболочечных конструкций.

Целью работы является исследование влияния геометрической нелинейности на деформации пологих оболочек при различных граничных условиях (жестких, полужестких и шарнирных), а также сравнительный анализ результатов расчета для каждого типа закрепления в линейной и нелинейной постановках.

Методы и материалы

Рассматривается полая оболочка, прямоугольная в плане (а, b – размеры в плане), под действием нормальной к ее поверхности распределенной нагрузки интенсивности P_3 . На *рис. 1* указаны внутренние изгибные усилия: изгибающие и крутящие моменты, поперечные силы и мембранные усилия: поперечные и продольные силы.

Геометрическая нелинейность оболочки учитываются в виде следующих зависимостей между деформациями и компонентами перемещений [4]:

$$\varepsilon_1 = \frac{\partial u}{\partial x} - k_1 w + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2, \varepsilon_2 = \frac{\partial v}{\partial y} - k_2 w + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2, \gamma = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial y}, \quad (1)$$

где в правой части κ_1, κ_2 – главные кривизны, u, v, w – компоненты перемещений в направлении осей x, y, z .

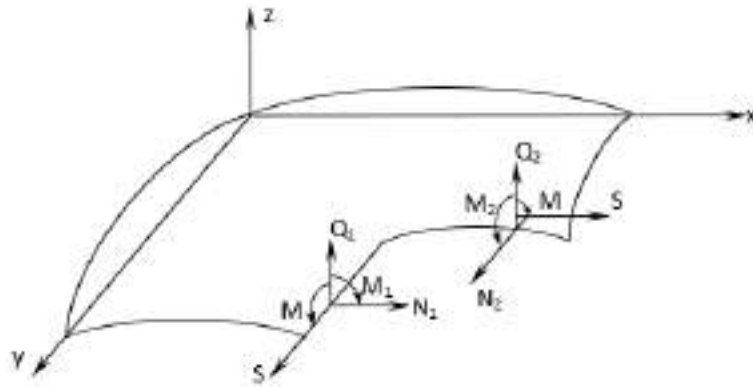


Рисунок 1 – Внутренние изгибные и мембранные усилия.

Для гладкой оболочки без учета геометрической нелинейности разрешающие уравнения имеют следующий вид [6]:

$$\begin{aligned}\Delta_{\kappa}^2 \varphi + D \Delta^2 \Delta^2 w - (P_3 + \frac{\partial m_x}{\partial x} + \frac{\partial m_y}{\partial y}) &= 0, \\ \frac{1}{Eh} \Delta^2 \Delta^2 \varphi - \Delta^2_{\kappa} w &= 0, \\ \Delta^2_{\kappa} &= \frac{\partial}{\partial x} (\kappa_2 \frac{\partial}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (\kappa_1 \frac{\partial}{\partial y}),\end{aligned}\quad (2)$$

где φ – функция напряжений, w – нормальные перемещения, D – цилиндрическая жесткость, E – модуль упругости оболочки, h – толщина оболочки, m_x, m_y – внешние погонные моменты.

С учетом геометрической нелинейности (1) разрешающие уравнения имеют вид [6]:

$$\begin{aligned}\Delta_{\kappa}^2 \varphi + D \Delta^2 \Delta^2 w &= - \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + P_3 + \frac{\partial m_x}{\partial x} + \frac{\partial m_y}{\partial y}, \\ \frac{1}{E} \Delta^2 \Delta^2 \varphi - \Delta^2_{\kappa} w &= \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 + \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}\end{aligned}\quad (3)$$

Граничные условия: для жесткого соединения оболочки с бортовыми элементами:

$$\begin{aligned}w &= 0, \\ \frac{\partial w}{\partial n} &= 0, \\ \Phi &= 0, \quad \frac{\partial \Phi}{\partial n} = 0 \quad \text{на контуре}\end{aligned}\quad \text{при } x = 0, a; y = 0, b$$

Аппроксимация для функции напряжения и прогиба:

$$w(x, y) = \sum_{m,n} A_{mn} \sin^2\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \sin^2\left(\frac{n\pi y}{b}\right)$$

$$\Phi(x, y) = \sum_{m,n} B_{mn} \sin^2\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \sin^2\left(\frac{n\pi y}{b}\right)$$

Для шарнирного опирания:

$$\begin{aligned} w &= 0, \\ M_n &= -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial n^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \right) = 0, \quad x = 0, a; \quad y = 0, b \\ \Phi &= 0 \quad \text{на контуре} \end{aligned}$$

Аппроксимация для функции напряжения и прогиба:

$$w(x, y) = \sum_{m,n} A_{mn} \sin\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{b}\right)$$

$$\Phi(x, y) = \sum_{m,n} B_{mn} \sin\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{b}\right)$$

Для полужесткого опирания:

$$\begin{aligned} w &= 0, \\ M_n + k_\theta \frac{\partial w}{\partial n} &= 0, \quad x = 0, a; \quad y = 0, b \\ \Phi + k_m \frac{\partial \Phi}{\partial n} &= 0 \end{aligned}$$

k_θ – коэффициент вращательной жёсткости опоры. Предельные случаи: $k_\theta \rightarrow \infty$ – жёсткое защемление; $k_\theta = 0$ – шарнир.

Результаты и обсуждение

В качестве примера рассматривается пологая оболочка со следующими физическими и геометрическими параметрами: размеры в плане: 24×24м; толщина оболочки: $h=80$ мм; стрела подъёма: $f=1,2$ м ($f/L=1/20$ – пологая оболочка); бетон: В30, модуль упругости $E=3,0 \cdot 10^4$ МПа; коэффициент Пуассона: $\nu=0,2$; полная расчётная нагрузка, включая собственный вес, постоянные и временные нагрузки: $q=5,5$ кН/м².

Приведён пример расчёта по второму предельному состоянию. Результаты расчёта представлены и проанализированы отдельно для жестких, полужестких и шарнирных граничных условий, что позволило выявить различия в характере деформирования пологих оболочек и степени проявления геометрической нелинейности.

В таблице 1 приведены прогибы и мембранные деформации для линейного решения.

В таблице 2 приведены прогибы и мембранные деформации для нелинейного решения.

В таблице 3 приведено сравнение линейного и нелинейного решений

Таблица 1 – Прогибы и мембранные деформации для линейного решения.

Линейное решение			
	Прогибы, мм	Относительные прогибы	Допускаемый прогиб, мм
Жесткое	27	$w/L=1/890$	$W_{\min}=L/250=96$
полужесткое	42	$w/L=1/585$	
шарнирное	56	$w/L=1/430$	
Мембранные деформации			
	ε_x	ε_y	Допустимые для бетона
Жесткое	$0,22 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$(1,0-1,2) \cdot 10^{-3}$
полужесткое	$0,34 \cdot 10^{-3}$	$0,32 \cdot 10^{-3}$	
Шарнирное	$0,48 \cdot 10^{-3}$	$0,45 \cdot 10^{-3}$	

Таблица 2 – Прогибы и мембранные деформации для нелинейного решения.

Нелинейное решение			
	Прогибы, мм	Относительные прогибы	Допускаемый прогиб, мм
жесткое	38	$w/L=1/630$	$W_{\min}=L/250=96$
полужесткое	54	$w/L=1/445$	
шарнирное	72	$w/L=1/330$	
Мембранные деформации			
	ε_x	ε_y	Допустимые деформации для бетона
жесткое	$0,35 \cdot 10^{-3}$	$0,32 \cdot 10^{-3}$	$(1,0-1,2) \cdot 10^{-3}$
полужесткое	$0,55 \cdot 10^{-3}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$	
шарнирное	$0,85 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \cdot 10^{-3}$	

Таблица 3 – Сравнение линейного и нелинейного решений

	Максимальные прогибы в линейном решении, мм	Максимальные прогибы в нелинейном решении, мм	Рост, %
жесткое	27	38	+41
полужесткое	41	54	+32
шарнирное	56	72	+29
Деформации в срединной поверхности			
жесткое	0	$0,35 \cdot 10^{-3}$	
полужесткое	0	$0,55 \cdot 10^{-3}$	
шарнирное	0	$0,85 \cdot 10^{-3}$	

Вывод

1. Линейный расчёт пологой железобетонной оболочки приводит к занижению прогибов на 30–40% по сравнению с геометрически нелинейным анализом и полностью исключает мембранные деформации срединной поверхности. Наиболее существенные расхождения между линейным и нелинейным решениями наблюдаются при жёстком и полужёстком закреплении контура, что свидетельствует о недопустимости использования линейной теории для оценки эксплуатационной пригодности пологих оболочек при больших пролетах.

2. Расчёт по второму предельному состоянию показал, что учет геометрической нелинейности приводит к увеличению прогибов и деформаций срединной поверхности пологой железобетонной оболочки на 15–30% по сравнению с линейным расчетом. Наиболее неблагоприятное деформационное состояние реализуется при шарнирных граничных условиях, тогда как жесткое защемление контура обеспечивает минимальные прогибы и деформации.

Литература:

1. Ворович И.И., Зипалова В.Ф. К решению нелинейных краевых задач теории упругости методом перехода к задаче Коши // ПММ. – 1965. – Т. 29. – №5. – С. 894-901.
2. Галимов К.З. Основы нелинейной теории тонких оболочек. – Казань: Изд-во КГУ, 1975. – 325 с.
3. Григолюк Э.И., Шалашилин В.И. Проблемы нелинейного деформирования: Метод продолжения решения по параметру в нелинейных задачах механики твердого деформируемого тела. – М.: Наука, 1988. – 232 с.
4. Корнишин М.С. Нелинейные задачи теории пластин и пологих оболочек и методы их решения. – М.: Наука, 1964. – 192 с.
5. Арленинов, П.Д., Крылов С.Б. Современное состояние нелинейных расчетов железобетонных конструкций. // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2017. – № 3. – С. 50–53.
6. Достанова С.Х., Исаханов Е.А., Токпанова К.Е. Влияние геометрической нелинейности на напряженно-деформированное состояние тонкостенных пологих оболочек. Проблемы механики АН РУз, №2, 2016. – Ташкент: АН РУз. – С. 101-104.

УДК 699.841

Евитченко Я.А., Серяковский Д.Д., ст. гр.СИ23-1р, Сатпаев университет
Исмаилова М.Н., ассистент профессор, Сатпаев университет

СЕЙСМИЧЕСКОЕ ДЕМПФИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ КАЗАХСТАНА

В статье рассматриваются возможности применения систем сейсмического демпфирования для повышения устойчивости объектов атомной энергетики Казахстана при сейсмических воздействиях. Проанализированы основные типы демпфирующих устройств, их влияние на снижение колебаний, внутренних напряжений, повреждаемости конструкций и срок службы сооружений. Установлено, что наиболее эффективными для объектов повышенной ответственности являются вязкостные демпферы и комбинированные системы сейсмоизоляции и дополнительного демпфирования. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании АЭС и других критически важных объектов.

Ключевые слова: сейсмостойкость, сейсмическое демпфирование, атомная энергетика, динамические нагрузки, вязкостные демпферы, сейсмоизоляция, надежность, срок службы.

Мақалада сейсмикалық әсерлер кезінде Қазақстанның атом энергетикасы объектілерінің тұрақтылығын арттыру үшін сейсмикалық демпфирлеу жүйелерін қолдану мүмкіндіктері қарастырылады. Демпфер құрылғыларының негізгі түрлері және олардың тербелісті, ішкі кернеуді, конструкцияның зақымдануын азайтуға, сондай-ақ қызмет ету мерзімін ұзартуға әсері талданды. Зерттеу нәтижесі бойынша жауапты нысандар үшін тұтқыр демпферлер мен сейсмооқшаулау және қосымша демпфирлеуді біріктіретін жүйелер ең тиімді болып табылады. Алынған нәтижелерді атом электр станцияларын және басқа да маңызды нысандарды жобалауда қолдануға болады.

Түйін сөздер: сейсмотұрақтылық, сейсмикалық демпфирлеу, атом энергетикасы, динамикалық жүктемелер, тұтқыр демпферлер, сейсмооқшаулау, сенімділік, қызмет ету мерзімі.

The article discusses the use of seismic damping systems to improve the stability of nuclear energy facilities in Kazakhstan under seismic impacts. The main types of damping devices and their effect on reducing vibrations, internal stresses, structural damage, and service life are analyzed. It was found that viscous dampers and combined systems of seismic isolation with additional damping are the most effective for critical facilities. The results can be used in the design of nuclear power plants and other important facilities.

Keywords: seismic resistance, seismic damping, nuclear energy, dynamic loads, viscous dampers, seismic isolation, reliability, service life.

Сейсмические воздействия представляют собой одну из наиболее сложных нагрузок для строительных конструкций, поскольку они носят кратковременный, нестационарный и многокомпонентный характер. При прохождении сейсмических волн через грунтовое основание и передаче их на здание в несущих элементах возникают дополнительные инерционные силы, межэтажные перемещения, локальные концентрации напряжений и ускорения, способные вызвать повреждение не только конструкций, но и технологического оборудования. Для объектов атомной энергетики данное обстоятельство приобретает особую значимость, так как речь идет не только о сохранении несущей способности, но и о поддержании работоспособности комплекса зданий, систем трубопроводов, опор оборудования и инженерных коммуникаций.

В научной литературе вопросы динамики сооружений и методов снижения сейсмического отклика подробно рассмотрены в работах А. Чопры, Т. Т. Сунга, Г. Даргуша, Дж. Келли, М. С. Константину и других исследователей. Авторы показывают, что традиционное повышение сейсмостойкости только за счет увеличения жесткости и прочности конструкций не всегда является рациональным, поскольку такой подход может сопровождаться ростом инерционных усилий и локальных повреждений в наиболее нагруженных зонах.

Наиболее изученными решениями являются вязкостные, фрикционные и массовые демпферы, а также системы базовой сейсмоизоляции с дополнительным демпфированием. Экспериментальные исследования на вибростендах и результаты численного моделирования показывают, что такие устройства способны заметно снижать перемещения, ускорения и внутренние усилия в конструкциях.

Целью настоящего исследования является определение возможностей применения систем сейсмического демпфирования для повышения устойчивости зданий и сооружений атомной электростанции в Казахстане. Объектом исследования являются здания и сооружения АЭС, подверженные воздействию сейсмических нагрузок. Предмет исследования составляют современные системы сейсмического демпфирования, позволяющие повышать надежность конструкций, снижать динамические нагрузки и обеспечивать безопасную эксплуатацию объектов атомной энергетики. Гипотеза исследования состоит в том, что интеграция демпфирующих устройств в конструктивную схему сооружений АЭС позволяет уменьшить амплитуду колебаний, снизить повреждаемость элементов, сократить объем ремонтных работ после землетрясений и увеличить срок службы сооружений. Таким образом, исследование ориентировано не на абстрактное описание типов демпферов, а на выбор наиболее целесообразной системы для сооружений, где ключевыми критериями являются безопасность, надежность, ремонтпригодность и сохранение эксплуатационной функции после землетрясения. При этом в работе учитывается не только конструктивный эффект, но и эксплуатационная целесообразность внедрения выбранных систем.

Исследование выполнено на основе аналитического подхода с использованием методов теоретического анализа, сравнительного анализа и элементов математического моделирования динамического поведения конструкций [1-4]. На первом этапе были проанализированы литературные источники, посвященные динамике сооружений, пассивным системам энергорассеяния, базовой сейсмоизоляции и нормативным требованиям проектирования в сейсмических районах [1-4, 12-14].

Для оценки эффективности рассматривались качественные показатели динамического отклика конструкций: амплитуда колебаний, ускорения, межэтажные перемещения, уровень внутренних напряжений и скорость затухания колебаний после сейсми-

ческого воздействия. Отдельное внимание уделялось данным экспериментальных работ с испытаниями на вибростендах и результатам численного анализа, опубликованным в современных исследованиях [5-9].

В качестве материалов исследования использованы научные публикации, нормативные документы, технические материалы производителей демпфирующих устройств и данные экспериментальных работ, посвященных испытаниям конструкций с дополнительным демпфированием [5-14]. Основное внимание было уделено трем группам устройств: вязкостным, фрикционным и массовым демпферам, а также комбинированным схемам, сочетающим сейсмоизоляцию и дополнительное демпфирование [2-4, 8].

Дополнительно были рассмотрены технические решения компаний GERB, Taylor Devices и FIP Industriale, специализирующихся на системах виброизоляции, сейсмозащиты и энергопоглощения [9-11]. Для сопоставления применимости устройств к объектам атомной энергетики использовались сведения об их работе в сооружениях повышенной ответственности, а также результаты испытаний и технических описаний, представленных производителями и исследователями [5-11].

Результаты проведенного анализа показывают, что системы сейсмического демпфирования существенно меняют характер работы конструкций при динамическом воздействии [2, 4]. Если при традиционной схеме без дополнительных энергорассеивающих устройств значительная часть энергии землетрясения воспринимается непосредственно несущими элементами, то при наличии демпферов часть этой энергии рассеивается, что ведет к снижению перемещений и внутренних усилий [2, 4, 12, 13].

Сравнение трех основных типов демпфирующих устройств показало, что наибольший практический интерес для объектов повышенной ответственности представляют вязкостные демпферы [2, 4–8]. Их главным преимуществом является стабильность работы при повторяющихся динамических воздействиях и возможность эффективного рассеивания энергии в широком диапазоне частот и амплитуд колебаний [2, 5, 6].

Анализ экспериментальных работ подтверждает данное положение. В исследованиях с использованием вибростендов показано, что включение вязкостных демпферов в конструктивную схему позволяет снижать межэтажные перемещения и ускорения в широких пределах, в ряде случаев до 30–70% [5-9]. При этом наблюдается не только снижение максимальных значений отклика, но и более быстрое затухание колебаний после прохождения основной фазы землетрясения [5, 6, 8].

Фрикционные демпферы также обладают рядом достоинств, прежде всего простотой конструкции и относительной технологичностью [2, 4]. Однако их применение для объектов повышенной ответственности должно оцениваться осторожно, поскольку эксплуатационные характеристики таких устройств в большей степени зависят от стабильности коэффициента трения, состояния контактных поверхностей и циклического износа [2, 4].

Отдельного внимания заслуживает влияние демпфирующих систем на ремонтную пригодность и долговечность сооружений. Проведенный анализ показывает, что применение демпферов снижает интенсивность накопления усталостных повреждений в материалах, поскольку уменьшает циклические перемещения и величину повторяющихся напряжений [2, 4–6]. Это означает, что после сильных сейсмических воздействий объем восстановительных работ может быть меньше, а срок службы основных несущих элементов – выше [5, 6].

Важным результатом исследования является вывод о целесообразности применения комбинированных систем сейсмоизоляции и демпфирования. Базовая сейсмоизо-

ляция позволяет снизить передачу части сейсмического воздействия от основания к сооружению, однако при ряде сценариев может сопровождаться увеличением относительных перемещений на уровне изолирующего слоя. Дополнительное демпфирование в таких случаях позволяет ограничивать эти перемещения и делать работу системы более устойчивой и предсказуемой [3, 4, 8].

С учетом условий Казахстана применение систем сейсмического демпфирования представляется технически обоснованным [12-14]. Действующие нормы по строительству в сейсмических зонах задают основу для учета сейсмических воздействий, однако внедрение демпфирующих устройств позволяет перейти от пассивного сопротивления нагрузкам к их целенаправленному контролю [12, 13]. Для объектов атомной энергетики такой подход особенно важен, поскольку позволяет одновременно решать задачи безопасности, надежности и долговечности [12-14].

В целом результаты исследования позволяют сделать вывод, что на современном этапе наиболее рациональным инженерным решением для объектов атомной энергетики являются вязкостные демпферы, а в перспективе – комбинированные системы сейсмоизоляции и дополнительного демпфирования [2, 4–8, 12]. Их применение способно повысить уровень сейсмической безопасности, уменьшить риск прогрессирующих повреждений, сократить последующие расходы на ремонт и увеличить срок службы конструкций [5, 6, 8, 12].

В результате проведенного исследования установлено, что применение систем сейсмического демпфирования является обоснованным и перспективным направлением повышения безопасности объектов атомной энергетики в Казахстане. Проанализированные данные показывают, что демпфирующие устройства уменьшают амплитуду колебаний, ускорения и внутренние усилия в конструкциях, что способствует повышению устойчивости зданий и сооружений при сейсмических воздействиях.

Подтверждено, что использование демпфирующих систем положительно влияет не только на уровень сейсмической безопасности, но и на эксплуатационные показатели сооружений: снижается интенсивность усталостных повреждений, сокращается объем ремонтных работ после сейсмических воздействий и увеличивается срок службы основных конструктивных элементов.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования полученных выводов при выборе конструктивных решений для проектирования АЭС и других критически важных сооружений. Перспективы дальнейших исследований связаны с детальным расчетным моделированием конкретных схем размещения демпферов, оценкой их совместной работы с системами сейсмоизоляции и адаптацией проектных подходов к требованиям нормативной базы Республики Казахстан.

Литература:

1. Chopra A. K. *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering*. 5th ed. Pearson, 2017.
2. Soong T. T., Dargush G. F. *Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering*. Chichester: Wiley, 1997.
3. Kelly J. M. *Earthquake-Resistant Design with Rubber*. 2nd ed. London: Springer, 1997.
4. Constantinou M. C., Symans M. D. *Seismic response of structures with supplemental damping*. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 1993.
5. Lan X. et al. *Study on the Damping Efficiency of a Structure with Additional Viscous Dampers Based on the Shaking Table Test*. *Buildings*, 2024.
6. Liu M. et al. *Shaking Table Tests and Numerical Analysis of a Steel Frame Equipped with VVDs*. *Buildings*, 2025.

7. Cai W. et al. *Shaking Table Tests of Suspended Structures Equipped with Viscous Dampers*. Applied Sciences, 2019.
8. Lyu Q. et al. *Shaking Table Test of a Base-Isolated Frame Structure with Supplemental Viscous Damping*. Buildings, 2022.
9. Taylor Devices. *Experimental Study of Structures with Supplemental Damping*. Technical Brief No. 6.
10. GERB. *Vibration Control. Spring-Viscodamper and seismic isolation systems*.
11. FIP Industriale. *Anti-seismic devices and vibration damping systems*.
12. СН РК EN 1998-1:2004/2012. *Проектирование сейсмостойких конструкций. Часть 1: Общие правила, сейсмические воздействия и правила для зданий*.
13. СП РК 2.03-30-2017. *Строительство в сейсмических зонах*.
14. СП РК 2.03-31-2020. *Застройка территории города Алматы с учетом сейсмического микроразделения*.

ӘОЖ 69.04

Жаксыбек Е.Е., ХБК (ҚазБСҚА) РПЗС-24-4* тобы студенті

Слямбаева А.К., т.ғ.к., ХБК (ҚазБСҚА) қауымдастырылған профессоры

МЕХАНИКАЛАНДЫРУДАҒЫ BIM ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ: ҒИМАРАТТЫҢ ЦИФРЛЫҚ ЕГІЗІ ЖАБДЫҚТЫҢ ҚОРЫН ДӘЛ ЕСЕПТЕУГЕ ЖӘНЕ ТОҚТАП ҚАЛУДЫ БОЛДЫРМАУҒА ҚАЛАЙ КӨМЕКТЕСЕДІ

Бұл мақалада құрылысты механикаландыру процестерін жоспарлаудағы BIM технологияларының, атап айтқанда Autodesk Revit бағдарламалық кешенінің мүмкіндіктері зерделенеді. Зерттеу барысында ғимараттың цифрлық егізі арқылы қажетті техника мен жабдықтар қорын дәл есептеудің әдістемесі қарастырылған.

Түйін сөздер: BIM технологиялары, Autodesk Revit, цифрлық егіз, құрылысты механикаландыру, BI Group, жабдықтар қоры, виртуалды жоспарлау, құрылыс тиімділігі, ресурстарды оңтайландыру.

В данной статье исследуются возможности BIM-технологий, в частности программного комплекса Autodesk Revit, в планировании процессов механизации строительства. В ходе исследования рассмотрена методология точного расчета парка необходимой техники и оборудования с помощью цифрового двойника здания.

Ключевые слова: BIM-технологии, Autodesk Revit, цифровой двойник, механизация строительства, BI Group, парк оборудования, виртуальное планирование, эффективность строительства, оптимизация ресурсов.

This article explores the capabilities of BIM technologies, specifically the Autodesk Revit software suite, in planning construction mechanization processes. The study examines the methodology for the accurate calculation of equipment and machinery fleets using a building's digital twin.

Keywords: BIM technologies, Autodesk Revit, Digital Twin, construction mechanization, BI Group, equipment fleet, virtual planning, construction efficiency, resource optimization.

Кіріспе

BIM (Building Information Modeling) – бұл құрылымы, инженерлік жүйелері және материалдары туралы толық ақпаратты қамтитын ғимараттың интеллектуалды 3D моделін жасау. Бұл цифрлық егіз сәулетшілер мен инженерлерге бірлесе жұмыс істеуге, техникалық сипаттамаларды автоматты түрде алуға, құрылыс басталғанға дейін қақтығыстарды анықтауға және жобаны тиімді басқаруға мүмкіндік береді.

Құрылыстағы механикаландыру тек ауыр машиналармен шектелмейді. Қалыптар мен тіректер сияқты көмекші жабдықтардың цифрлық егізі – бұл ресурстарды басқарудың жаңа стандарты. Revit ортасында жабдықтың әрбір бөлшегін виртуалды инвентаризациялау арқылы біз құрылыс алаңындағы хаосты жойып, оны нақты жұмыс істейтін зауыт конвейеріне айналдырамыз.

Қазіргі заманғы құрылыс индустриясы тек қабырға тұрғызумен шектелмейтін, жоғары технологиялық және математикалық дәлдікті талап ететін күрделі процесске айналды. Осы орайда мен құрылысты механикаландыру саласындағы BIM (Building Information Modeling) технологияларының рөлін жай ғана қосымша құрал емес, саланың ажырамас өзегі деп есептеймін. Әсіресе, ғимараттың цифрлық егізін жасау арқылы құрылыс жабдықтарын, атап айтқанда қалыптар жүйесін, тіректер мен басқа да қосымша құрылғыларды басқарудың маңызы зор. Менің пайымдауымша, Autodesk Revit бағдарламалық кешені бұл процесте виртуалды сынақ алаңы қызметін атқарып, нақты құрылыс басталмай тұрып-ақ барлық ықтимал қателіктерді модельдеуге мүмкіндік береді.

Чак Истманның зерттеулеріне сүйенсек, BIM-модельді қолдану құрылыс барысындағы жоспардан тыс өзгерістерді 40%-ға дейін азайтады. Сондай-ақ, авторлар Revit сияқты параметрлік бағдарламаларда деректердің өзара байланыстылығы есеп айырысудағы қателіктерді нөлге түсіріп, сметалық дәлдікті 3%-ға дейін жақсартатынын дәлелдеген [1].

Негізгі бөлім

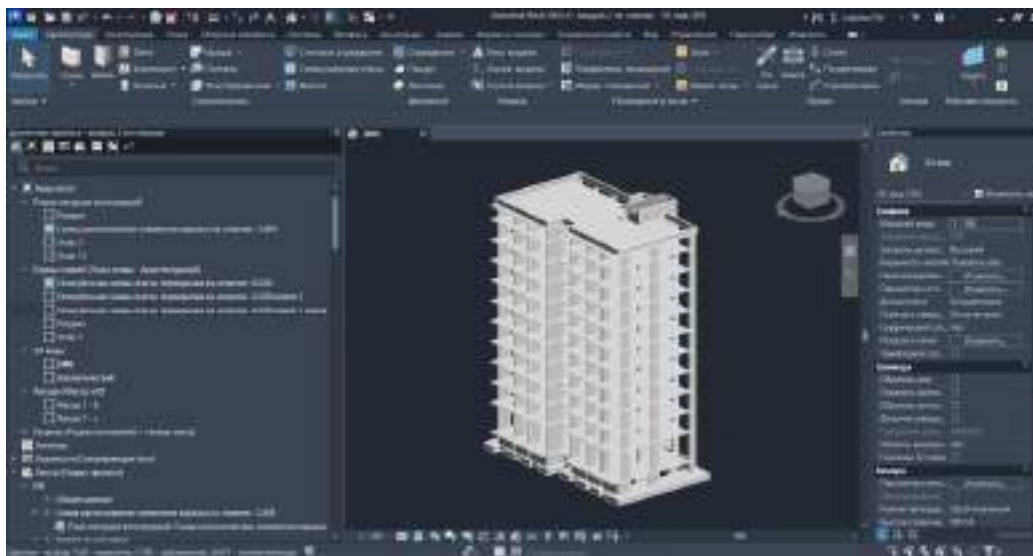
Revit-тің басты феномені – оның ішіндегі барлық сызбалардың, көріністердің, парақтар мен 3D модельдердің бір-бірімен тығыз байланыстылығында деп санаймын. Егер инженер бір парақта немесе қимада кішігірім өзгеріс енгізсе, ол өзгеріс бүкіл жоба бойындағы барлық байланысты көріністер мен спецификацияларда автоматты түрде жаңартылады. Менің ойымша, бұл «тізбекті реакция» адам факторынан болатын қателіктерді нөлге түсіреді, өйткені бір жерде түзетілген деректің басқа парақта ескіріп қалуы мүмкін емес. Осы тұрғыда цифрлық егіз технологиясы жабдықтардың қорын миллиметрге дейінгі дәлдікпен есептеуге жол ашады, бұл өз кезегінде логистикалық шығындарды оңтайландырып, құрылыс алаңына артық материалдардың жиналуына жол бермейді. Сонымен қатар, Revit-те ғимараттың 3D аналитикалық моделін көру мүмкіндігі механикаландыруды жаңа деңгейге шығарады. Бұл тек сыртқы қабық емес, конструкцияның ішкі кернеулері мен инженерлік байланыстарын көруге мүмкіндік беретін терең талдау құралы екеніне сенімдімін. Менің жеке бақылауымша, BI Group сияқты ірі холдингтердің тәжірибесі көрсеткендей, жабдықтардың айналымдылығын цифрлық кесте арқылы реттеу техникалық іркілістер мен тоқтап қалуларды (down-time) айтарлықтай азайтады. Виртуалды моделдеу құрылыс алаңындағы жабдықтар мен техниканың жұмыс өнімділігін 25%-ға арттырады. Зерттеуде Revit-тегі 4D модельдеу (уақыт пен модель интеграциясы) жабдықтардың бос тұрып қалуын (down-time) болдырмаудың ең тиімді құралы екені көрсетілген [2].

Бұл тек қағаз жүзіндегі жоспар емес, нақты уақыт режимінде жабдықтардың ротациясын қадағалайтын тірі жүйе деп білемін. Сонымен қатар, Revit ортасында қалыптар жүйесінің немесе аспалы платформалардың виртуалды монтажын жасау жұмысшылардың қауіпсіздігін арттырып, құрылыс қарқынын жеделдететініне сенімдімін.

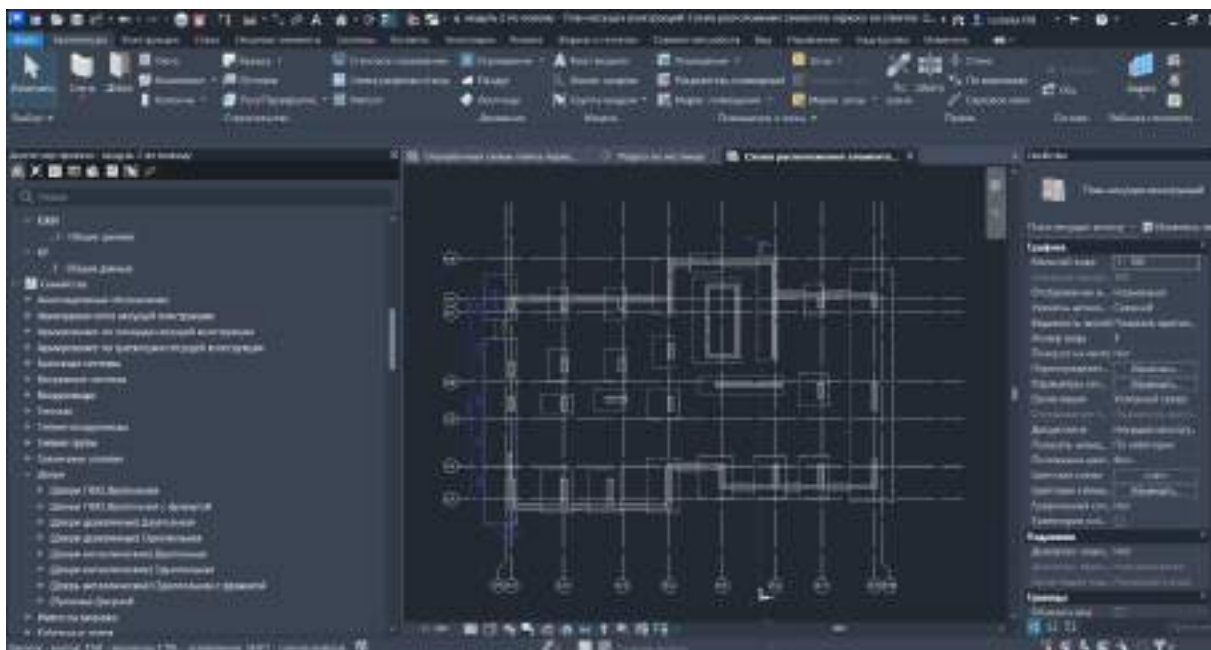
1-суретте Revit бағдарламасының интерфейсы мен істеп жүрген проектінің BIM моделінің айқын көрінісін көре аламыз.

Сакстың зерттеулері BIM технологиясын қолдану құрылыс жабдықтарының (мысалы, қалыптар жүйесінің) логистикалық тізбегіндегі шығындарды 10%-дан 30%-

ға дейін қысқартатынын айқындайды. Ол ғимараттың аналитикалық моделі мен нақты құрылыс кезеңдерін синхрондау арқылы ресурстарды «дәл уақытында» (Just-in-Time) жеткізу принципін іске асыруға болатынын ғылыми түрде дәлелдеген [3].



1-сурет – Revit бағдарламасындағы BIM моделінің үлгісі.



2-сурет – Revit бағдарламасындағы отбасылықтар мен сызбалар.

Қорытынды

Біздің ойымызша, механикаландырудағы мұндай цифрлық трансформация – бұл тек уақыт талабы емес, бұл ресурстарды үнемдеудің және құрылыс сапасын халықаралық стандарттарға сәйкестендірудің төте жолы. Түйіндей келе айтарым, BIM технологиясы мен цифрлық егіздерді қолдану құрылыс алаңын хаостан тазартып, оны әрбір деталі алдын ала есептелген жоғары технологиялық конвейерге айналдырады. Болашақта мұндай жүйелердің қолданыс аясы кеңейіп, отандық құрылыс саласының бәсекеге қабілеттілігін арттыратын негізгі фактор болып қала бермек.

Әдебиеттер:

1. Eastman, K., Teicholz, P., Sachs, R., and Liston, K. (2011). BIM анықтамалығы: иелеріне, менеджерлеріне, дизайнерлеріне, инженерлеріне және мердігерлеріне арналған құрылыс ақпаратын модельдеуге арналған нұсқаулық.
2. Hardin, B., and McCool, D. (2015). BIM және құрылысты басқару: дәлелденген құралдар мен әдістер.
3. Сакс, Р., Коскела, Л., Дэйв, Б.А. және Оуэн, Р. (2010). Үнемді өндіріс пен құрылысты ақпараттық модельдеудің өзара әрекеттесуі: шешімдер мен стратегиялар.

УДК 699.841

Жумакарим А.К., ст. гр. Арх-22-4 КарТУ имени А. Сагинова

Любченко М.В., старший преподаватель КарТУ имени А. Сагинова

ОБЗОР ПОДХОДОВ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ЗДАНИЙ В КАЗАХСТАНЕ И ЯПОНИИ

Землетрясения представляют серьёзную угрозу для городов, расположенных в сейсмически активных зонах. Город Алматы, исторически подверженный разрушительным землетрясениям, требует применения сейсмостойких технологий при строительстве зданий. В статье исследуется опыт Японии по сейсмостойкому проектированию, рассматриваются исторические данные о землетрясениях в Алматы и современные подходы к обеспечению сейсмической безопасности зданий в Казахстане.

Ключевые слова: сейсмостойкие здания, землетрясения, Алматы, Япония, строительные технологии, сейсмостойчивость.

Жер сілкіністері сейсмикалық белсенді аймақтарда орналасқан қалалар үшін үлкен қауіп төндіреді. Алматы қаласы тарихи тұрғыдан жойқын жер сілкіністеріне ұшырағандықтан, ғимараттарды салу кезінде сейсмотұрақты технологияларды қолдануды талап етеді. Мақалада Жапонияның сейсмотұрақты жобалау тәжірибесі зерттеліп, Қазақстандағы ғимараттардың сейсмикалық қауіпсіздігін қамтамасыз етудің заманауи тәсілдері қарастырылады.

Түйін сөздер: сейсмотұрақты ғимараттар, жер сілкіністері, Алматы, Жапония, құрылыс технологиялары, сейсмотұрақтылық.

Earthquakes pose a significant risk to cities situated in seismically active regions. Almaty, which has a history of destructive earthquakes, requires the use of earthquake-resistant technologies in building construction. This article examines Japan's experience in seismic design, analyses historical earthquake data in Almaty, and discusses modern approaches to improving the seismic safety of buildings in Kazakhstan.

Keywords: earthquake-resistant buildings, earthquakes, Almaty, Japan, construction technologies, seismic resistance.

Введение

Сейсмическая активность является одним из ключевых факторов, определяющих требования к проектированию и строительству зданий во всех регионах мира. Город Алматы расположен в зоне высокой сейсмичности и относится к территориям с интенсивностью до 9–10 баллов по шкале MSK-64, что требует применения специальных конструктивных решений при строительстве [4].

Исторические данные свидетельствуют, что за последние 100–125 лет в регионе произошло значительное количество разрушительных землетрясений с эпицентрами на расстоянии от 20 до 130 км от города [1].

Ежегодно в радиусе до 80 км фиксируется до 200 слабых сейсмических событий, при этом землетрясения магнитудой 2–4 являются характерным фоновым режимом [3–5].

Территория Алматы характеризуется сложным тектоническим строением: в пределах города и прилегающих территорий выявлено около 30 разломов, более 60% которых расположены в горных районах [5].

Анализ исторических данных показывает, что многочисленные катастрофы стали основой для формирования первых нормативов в области сейсмостойкости зданий в Казахстане [4]. После разрушительного Кеминского землетрясения 1887 года и последующих событий 1889 и 1911 годов власти ввели первые ограничения по этажности и конструктивные требования для новых зданий, чтобы снизить риск разрушений [4, 5].

В XX веке нормативная база развивалась постепенно: СН 1970-х годов предложено ограничение этажности зданий в сейсмоопасных зонах и обязательное усиление конструкций; СН РК 1980–1990 гг. введены расчеты сейсмических нагрузок, усиление узлов соединений, контроль качества материалов; СП РК 2.03-30-2017 закрепил требования по расчёту нагрузок с учётом сейсмических воздействий, применение монолитных каркасов с жёсткими ядрами и усиление фундаментных конструкций [8].

Здания должны обладать высокой пространственной жёсткостью за счёт прочного соединения всех элементов, правильного распределения несущих стен, ограничения пролётов, облегчения верхних частей зданий и надёжного закрепления в грунте. Для более высоких зданий начали учитывать опыт стран с аналогичными сейсмическими условиями.

В практике проектирования зданий в Казахстане конструктивной основой, как правило, являются монолитные железобетонные каркасы с ядрами жёсткости и диафрагмами. Для обеспечения сейсмостойкости применяются: усиленные фундаменты и стены; специальные железобетонные конструкции; дополнительное армирование; пространственные каркасные системы; а также в отдельных случаях – элементы сейсмоизоляции и демпфирования [9]

Весьма ценным является использование обширного опыта Японии, расположенной на стыке крупных тектонических плит, что приводит к частым землетрясениям большой мощности (до 9 баллов и более по интенсивности). Такая геодинамическая ситуация исторически сформировала одну из самых строгих и развитых инженерных практик сейсмостойкого строительства в мире. Основной принцип японского подхода заключается не только в повышении прочности конструкций, но и в активном снижении воздействия землетрясений на само здание [6,7].

В силу названных обстоятельств в Японии одним из основных принципов проектирования принято использование гибких и адаптивных конструкций, что позволяет зданиям эффективно реагировать на сейсмические воздействия и минимизировать повреждения. Примером являются амортизаторы, поглощающие и распределяющие энергию колебаний (рис. 1).

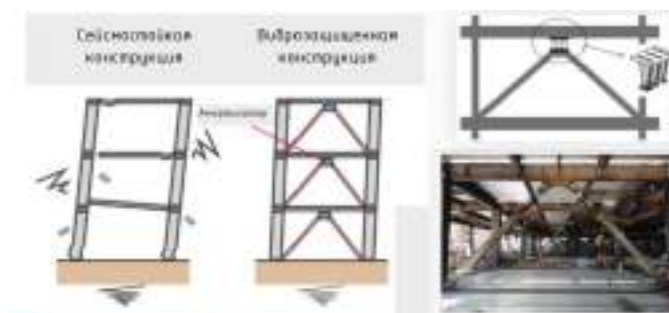


Рисунок 1 – Технология применения амортизаторов

Одним из наиболее эффективных методов является сейсмоизоляция фундамента (base isolation) – установка специальных изоляторов (многослойные резинометаллические подшипники, трения или «фрикционные» системы), которые размещаются между фундаментом и надстройкой и служат для «разъединения» здания от прямой передачи колебаний грунта. Названная технология позволяет существенно снизить амплитуду вибраций в структуре здания, так как большая часть энергии землетрясения гасится на уровне основания и не передаётся вверх по конструкции. По сравнению с традиционными конструктивными схемами это снижает риск повреждений основных несущих элементов и уменьшает внутренние деформации, что важно для сохранности оборудования и людей внутри помещений согласно *рисунку 2* [6, 7].

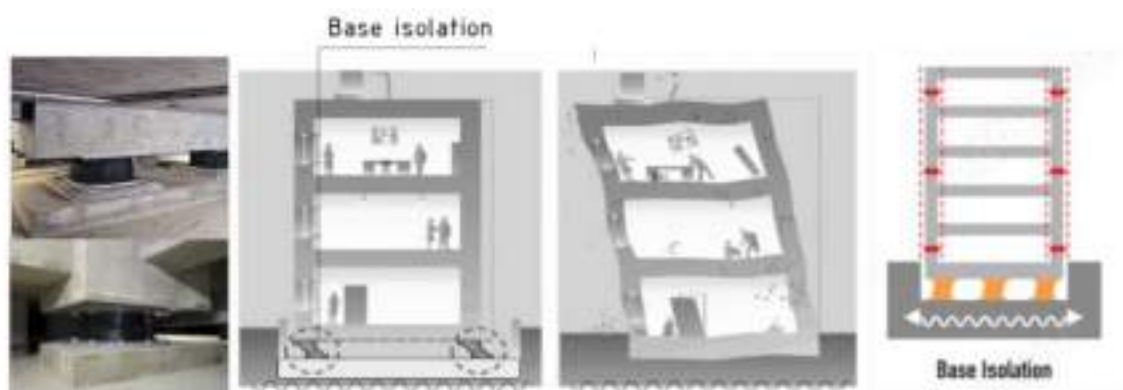


Рисунок 2 – Диаграмма сейсмоизоляции фундамента.

Кроме того, в японской практике широко применяются энергорассеивающие устройства: такие, как стальные гистерезисные, высокоэластичные и вязкожидкостные демпферы, которые устанавливаются внутри здания и эффективно поглощают вибрационную энергию. Демпферы позволяют уменьшить ускорения и относительные смещения в верхних частях здания, снижая нагрузку на каркас и повышая устойчивость при сейсмических воздействиях [6, 7].

Сейсмоизоляция и методы контроля ответной реакции применяются в Японии уже несколько десятилетий и доказали свою эффективность как для новых объектов, так и при сейсмоизоляции исторических сооружений. Доказано, что тысячи построенных зданий с использованием этих технологий показывают более высокую сейсмостойкость по сравнению с традиционными усиленными каркасами [4].

Сравнительный анализ методов сейсмостойкого строительства Японии и Казахстана показывает, что, несмотря на различие климатических и географических условий, Япония и Казахстан (в частности, Алматы) имеют схожие требования к устойчивости зданий из-за высокой сейсмической активности. В обеих странах применяются жесткие каркасные конструкции с усиленным армированием и распределением нагрузок, усиленные фундаменты и современные методы расчёта сейсмических нагрузок. В практике обеих стран используются демпферы и энергорассеивающие элементы – в Японии повсеместно, а в Казахстане выборочно, преимущественно в высотных сооружениях с развитой инженерной проработкой. Япония дополнительно широко применяет сейсмоизоляцию основания и комплексные демпферные системы, что минимизирует деформации и внутренние ускорения даже при мощных землетрясениях.

В Японии base isolation (рис. 5) и комплексные демпферные системы применяются не только в секторе высотного жилья, но и в общественных и критически важных инфраструктурных объектах, что обеспечивает более низкие уровни внутренних ускорений и деформаций даже при мощных толчках. В Казахстане такие технологии пока внедряются недостаточно, чаще используются доказавшие свою эффективность методы усиления конструкций, жесткие каркасы без динамической изоляции основания.

Внедрение описанных японских технологий в Казахстане могло бы существенно повысить сейсмостойкость зданий, особенно высотных и критически важных объектов, снижая ущерб от землетрясений и повышая общую безопасность городов.

Перспективные тенденции развития строительства в сейсмоопасных регионах Казахстана, особенно Алматы, должно включать не только совершенствование традиционных, конструктивных решений, но и внедрение зарубежного опыта. Анализ сейсмостойкого строительства в Казахстане и Японии показывает, что обе страны используют усиленные каркасные конструкции, армированные фундаменты и демпферы для поглощения вибраций, однако Япония дополнительно широко применяет сейсмоизоляцию основания и комплексные демпферные системы, что минимизирует деформации и внутренние ускорения даже при мощных землетрясениях.

Таким образом, комплексное применение *самоизоляции оснований* с использованием резинометаллических или трения платформ, эффективно отделяющих надстройку от сил землетрясения и уменьшающих передачу горизонтальных колебаний, *комплексные демпферные системы* (стальные гистерезисные, высокоэластичные, жидкостные демпферы), поглощающие энергию колебаний и повышающие устойчивость зданий, *мониторинг и управление состоянием сооружений в реальном времени* позволяющий, своевременно выявлять изменения динамических характеристик, дают основание полагать, что применение названных технологий весьма актуально.

Внедрение названных технологий в Казахстане послужит повышению сейсмостойкости критически важных объектов, сочетая архитектурные и функциональные требования с долговечностью и безопасностью зданий.

Литература:

1. Ашимбаев М.У., Ицков И.Е. Проблемы обеспечения надёжности зданий повышенной этажности в сейсмических районах. – Алматы, 2005.
2. Вестник КазГАСА. Влияние этажности на сейсмостойкость высотных монолитных зданий в Алматы. – Алматы, 2024.
3. Рекомендации по содержанию карты сейсмического зонирования территории Республики Казахстан. – Алматы, 2014. (КазНИИССА)
4. Очерки истории Алматы: землетрясения. – Алматы, 2008.
5. Материалы по истории землетрясений Верного. – Алматы.
6. Matsuura R.S. A Brief History of Japanese Historical Seismology.
7. Miki K., Yamada H. Seismic Design and Earthquake Engineering in Japan. – Tokyo, 2015.
8. СП РК 2.03-30-2017. Строительство в сейсмических зонах. – Астана: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства РК, 2017.
9. Максимов Ю.С., Ващенко Г.А. Сейсмостойкое строительство безопасность сооружений. – Алматы, 2015.

Жунусова А.Р., магистрант Сатпаев университета
Достанова С.Х., д.т.н., профессор Сатпаев университета

ВЛИЯНИЕ ЖЕСТКОСТИ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

В статье рассматривается влияние жесткости грунтового основания на динамические характеристики и напряженно-деформированное состояние (НДС) каркасных зданий при сейсмических воздействиях. Представлена расчетная модель системы «здание - грунтовое основание», основные уравнения для определения частот собственных колебаний и сейсмических сил. Приведен пример расчета четырехэтажного здания, в результате расчета получены значения внутренних усилий и деформаций в несущих элементах. Сделана оценка НДС в зависимости от жесткости грунтового основания.

Ключевые слова: динамические характеристики, сейсмические воздействия, грунтовое основание, колонны, ригеля, усилия, деформации.

Бұл мақалада сейсмикалық әсерлер кезіндегі қаңқалы ғимараттардың динамикалық сипаттамалары мен кернеу-деформация күйіне (СТК) топырақ қаттылығының әсері қарастырылады. «Ғимарат - топырақ» жүйесінің есептеу моделі, сондай-ақ табиғи жиіліктер мен сейсмикалық күштерді анықтауға арналған негізгі теңдеулер ұсынылған. Төрт қабатты ғимарат үшін ішкі күштер мен жүктеме көтергіш элементтердегі деформациялардың мәндерін беретін мысал ретінде есептеу келтірілген. Кернеу-деформация күйі топырақ іргетасының қаттылығына байланысты бағаланады.

Түйін сөздер: динамикалық сипаттамалар, сейсмикалық әсерлер, топырақ іргетасы, бағандар, арқалықтар, күштер, деформациялар.

This article examines the effect of soil stiffness on the dynamic characteristics and stress-strain state (SSS) of frame buildings under seismic impacts. A computational model of the building-soil system and the fundamental equations for determining the natural vibration frequencies and seismic forces are presented. An example calculation for a four-story building is provided, yielding values for internal forces and deformations in load-bearing elements. The stress-strain state is estimated based on the stiffness of the underlying soil.

Keywords: dynamic characteristics, seismic effects, underlying soil, columns, beams, forces, deformations.

Введение

В сейсмически активных районах одной из важнейших задач является обеспечение надежности и устойчивости зданий при динамических воздействиях. Реакция сооружения на землетрясение определяется не только характеристиками самой конструкции, но и условиями её взаимодействия с грунтовым основанием. В большинстве традиционных расчетных схем основание принимается абсолютно жестким, однако в реальных условиях грунт обладает конечной деформируемостью. Это приводит к изменению динамических характеристик системы «сооружение–основание».

Жесткость грунтового основания оказывает существенное влияние на собственные частоты и периоды колебаний здания [1-6]. При уменьшении жесткости грунта происходит снижение общей жесткости системы и увеличение периодов собственных колебаний. Это может привести к увеличению инерционных сил, действующих на конструкцию. Кроме того, деформируемость основания вызывает дополнительные горизонтальные перемещения и вращения фундамента, что приводит к увеличению межэтажных перекосов и деформаций несущих элементов каркаса. В результате воз-

растают изгибающие моменты и поперечные силы в колоннах и ригелях, особенно в нижних этажах здания. При интенсивных землетрясениях это может существенно повлиять на напряженно-деформированное состояние конструкций и их несущую способность.

Особенно важным является учет жесткости основания для зданий, расположенных на глинистых и слабых грунтах, где деформации основания могут достигать значительных величин [5-6]. В таких условиях взаимодействие системы «сооружение–основание» может приводить к увеличению горизонтальных перемещений здания на 30–50% и более по сравнению с расчетами, выполненными при предположении абсолютно жесткого основания.

Современные методы динамического анализа позволяют учитывать податливость основания путем введения дополнительных параметров жесткости в расчетную модель здания. Это дает возможность более точно определить собственные формы колебаний, распределение сейсмических сил по высоте здания, а также усилия и деформации в элементах каркаса.

Таким образом, учет жесткости грунтового основания является важным фактором повышения точности динамических расчетов и надежности проектирования каркасных зданий в сейсмических районах. Проведение исследований в данном направлении позволяет более достоверно оценивать динамический отклик зданий и разрабатывать эффективные конструктивные решения для обеспечения их сейсмостойкости.

Метод и материалы

При динамическом расчёте зданий в сейсмических районах важную роль играет взаимодействие системы «сооружение – основание». Жесткость грунтового основания изменяет общую жесткость системы и влияет на собственные частоты, периоды колебаний, перемещения и усилия в несущих элементах каркаса. Динамическая модель здания описывается уравнением движения [7-8]:

$$[M]u'' + [C]u' + ([K] + [K_s])u = -[M]r a_g(t) \quad (1)$$

где M – матрица масс здания; K – матрица жесткости каркаса; K_s – матрица жесткости основания; C – матрица демпфирования; u – горизонтальное перемещение, в правой части – $M r a_g(t)$ – сейсмическое воздействие, где r – вектор влияния, $a_g(t)$ – ускорение основания (акселерограмма землетрясения).

Частотное уравнение имеет следующий вид:

$$\text{Det}(K - \omega^2 M) = 0,$$

где ω – частота собственных колебаний здания.

Степень свободы системы определяется его этажностью, поэтому этажные массы сосредотачиваются в верхних точках этажа. Для системы с четырьмя степенями свободы, для каждого этажа уравнение (1) можно переписать в виде (2):

$$m_i \ddot{u}_i + c_i(\dot{u}_i - \dot{u}_{i-1}) - c_{i+1}(\dot{u}_{i+1} - \dot{u}_i) + k_i(u_i - u_{i-1}) - k_{i+1}(u_{i+1} - u_i) = -m_i a_g(t) \quad (2)$$

где $i=1,2,3,4$

Граничные условия имеют следующий вид:

Нижний этаж ($i=1$) связан с основанием:

$$m_1 \ddot{u}_1 + c_1 \dot{u}_1 - c_2(\dot{u}_2 - \dot{u}_1) + k_1 u_1 - k_2(u_2 - u_1) = -m_1 a_g(t)$$

Верхний этаж ($i=4$):

$$m_4 \ddot{u}_4 + c (\dot{u}_4 - \dot{u}_3) + k (u_4 - u_3) = -m_4 \ddot{u}_g(t)$$

Учет взаимодействия сооружения с основанием рассматривается в СП – Строительство в сейсмических районах. Еврокод 8, СН РК по сейсмостойкому строительству [5-6]. Сейсмическая сила определяется в виде: $F = M a_g$

Эффекты сейсмического воздействия должны быть определены посредством приложения к двум плоским моделям горизонтальных усилий по всем этажам [5-6]:

$$F_i = F_b \cdot \frac{s_i \cdot m_i}{\sum s_j \cdot m_j},$$

где F_i – горизонтальная сила, действующая на i этаже; F_b – суммарная поперечная сила в основании здания, s_i, s_j – перемещения масс m_i, m_j по основной форме колебаний; m_i, m_j – массы этажей,

$$F_b = S_d(T_1) \cdot m \cdot \lambda,$$

где $S_d(T_1)$ – ордината расчетного спектра при периоде T_1 ; T_1 – период основного тона горизонтальных колебаний здания в рассматриваемом направлении; m – общая масса здания выше фундамента или выше верха жесткой подземной части); λ – корректирующий коэффициент, значение которого равно: $\lambda = 0,85$, если $T_1 \leq 2 T_C$ и здание имеет более двух этажей, или $\lambda = 1,0$ в иных случаях.

Результаты и обсуждение

В качестве примера рассмотрено четырехэтажное железобетонное каркасное здание. Основные его параметры: размеры в плане: 18×24 м, высота этажа: 3,3 м, шаг колонн: 6 м, колонны: 40×40 см, ригели: 30×50 см, толщина плит перекрытия: 120 мм. Масса одного этажа: $m=9,0 \times 10^5 \text{ кг}$, общая масса здания $M=3,6 \times 10^6 \text{ кг}$, Интенсивность землетрясения: 9 баллов, расчетное ускорение основания: $a_g=0,35g$. Параметры ригеля: $l=6 \text{ м}$, площадь сечения $b \times h=0,30 \times 0,50 \text{ м}^2$, жесткость ригеля: $EI=3,1 \times 10^7 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$.

Результаты расчетов приведены в таблицах 1–4. В таблице 1 представлено влияние типа грунтового основания на периоды и частоты собственных горизонтальных колебаний здания.

Таблица 1 – Периоды и частоты собственных колебаний здания в зависимости от типов грунтового основания

Тип грунта	Модуль деформации грунта, МПа	Период 1 формы колебаний, сек	Первая собственная частота, Гц	Период 2 формы колебаний, сек	Вторая собственная частота, Гц
Скальная	80-100	0,36	2,78	0,12	6,04
Плотные глины	40-60	0,42	2,38	0,14	7,1
Слабые грунты	15-25	0,55	1,89	0,18	9,23

В таблице 2 представлено распределение сейсмической нагрузки по этажам в зависимости от типа грунтового основания.

Таблица 2 – Распределение сейсмической нагрузки по этажам в зависимости от типа грунтового основания, Кн

Тип грунта	4 этаж	3 этаж	2 этаж	1 этаж	Суммарная нагрузка
Скальная	3485	2805	2295	1870	10455
Плотные глины	4100	3300	2700	2200	2300
Слабые грунты	5330	4290	3510	2860	15990

В таблице 3 представлены массовое участие 1 формы колебания в %, горизонтальные перемещения верхнего этажа в мм, межэтажные перекосы в зависимости от типа грунтового основания.

Таблица 3 – Массовое участие 1 формы колебания в %, горизонтальные перемещения верхнего этажа в мм, межэтажные перекосы

Тип грунта	Коэффициент жесткости грунта	Массовое участие 1 формы в %	Горизонтальное перемещение верхнего этажа, мм	Межэтажные перекосы
Скальная	высокий	68	52	1/520
Плотные глины	средний	72	78	1/420
Слабые грунты	низкий	76	120	1/300

В таблице 4 представлены максимальные изгибающие моменты в колоннах 1 этажа, Кн; поперечные силы в основании здания, Кн; максимальные моменты в ригелях, Кнм; максимальные прогибы в ригелях, мм; максимальные продольные силы в ригелях, Кн в зависимости от типа грунтового основания.

Таблица 4 – Максимальные изгибающие моменты в колоннах 1 этажа, Кн; поперечные силы в основании здания, Кн; максимальные моменты в ригелях, Кнм; максимальные прогибы в ригелях, мм; максимальные продольные силы в ригелях, Кн

Тип грунта	Максимальные изгибающие моменты в колоннах 1 этажа, КНм	Максимальные поперечные силы в основании здания, КН	Максимальные моменты в ригелях, КНм	Максимальные прогибы в ригелях, мм	Продольные силы в ригелях
Скальная	420	10800	180	8	80,75
Плотные глины	480	12000	210	12	95
Слабые грунты	560	13200	250	18	123,5

Обобщая полученные результаты, видно, что с уменьшением жесткости основания частоты собственных уменьшаются, что привело к увеличению сейсмических сил, горизонтальных перемещений верхних этажей, максимальных изгибающих моментов в колоннах 1-го этажа и ригелях, а также к максимальным прогибам и продольным силам в ригелях. Продольные силы в ригелях появляются из-за совместной работы ригеля и колонны. Усилия в колоннах увеличились на 30%, изгибающие моменты в ригелях увеличились на 25-30%, а деформации на 15-20%.

Вывод

1. Жесткость грунтового основания существенно влияет на динамические характеристики каркасного здания. Уменьшение жесткости основания приводит к увеличению периодов колебаний и снижению собственных частот.

2. Для плотных глинистых грунтов период первой формы увеличивается примерно на 15–20%, а для слабых грунтов – до 40–50%.

3. С уменьшением жесткости основания возрастает динамический отклик здания: увеличиваются горизонтальные перемещения верхних этажей и межэтажные перекосы.

4. Усилия в несущих элементах каркаса (колоннах и ригелях) также возрастают. Максимальные изгибающие моменты в колоннах нижнего этажа могут увеличиваться на 20–30 %.

5. Учет взаимодействия «сооружение – основание» является необходимым при динамическом анализе каркасных зданий в сейсмических районах, поскольку он существенно влияет на распределение усилий, деформаций и динамических характеристик системы.

Литература:

1. Харланов В.П. Основы сейсмостойкого строительства. – Волгоград: ВолгГАСУ, 2026. – 100 с.
2. Бирбраев А.Н. Расчет конструкций на сейсмостойкость. – СПб., 1998
3. Амосов А.А., Сеницын С.Б. Основы сейсмостойкого строительства. – 2010. – 136 с.
4. Немчинов Ю.И. Сейсмостойкость зданий и сооружений. – 2008. – 478 с.
5. Eurocode8. EN 1998-1: Eurocode 8 – Design of Structures for Earthquake Resistance.
6. СП 14.13330. Строительство в сейсмических районах. СН РК по сейсмостойкому строительству. Нормы проектирования зданий в сейсмических районах Республики Казахстан.
7. Кусаинов А.А., Достанова С.Х., Полякова И.М. Динамика и устойчивость сооружений: Учебное пособие. – Алматы, 2017. – 236 с.
8. Достанова С.Х., Салех Гулам Сахи. Основные направления развития сейсмостойкости зданий и сооружений // Вестник Казахской головной архитектурно-строительной академии. – Алматы, 2021. – №1(79). – С. 187-195.

УДК 624.042.8+624.04

Кайредден К.А., магистрант Сатпаев университета
Достанова С.Х., д.т.н., профессор Сатпаев университета

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ УПРУГОЙ СИСТЕМЫ С РАЗРЫВНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

В работе разработана математическая модель динамики упругой системы с разрывными параметрами. Представлены основные динамические уравнения для монолитной плиты с дискретно расположенными ребрами, диафрагмами, условия сопряжения плиты с ребрами, диафрагмами и контурными элементами. Получены результаты расчета, показано влияние разрывных параметров на напряженно-деформированное состояние плиты при различных граничных условиях, сделано сравнение со статическим расчетом.

Ключевые слова: динамика, плита перекрытия, разрывные параметры, ребра, диафрагмы, контурные соединения, собственные частоты.

Бұл мақалада үзіліссіз параметрлері бар серпімді жүйе динамикасының математикалық моделі әзірленеді. Мақалада дискретті орналасқан қабырғалары мен диафрагмалары бар монолитті плита үшін негізгі динамикалық теңдеулер, сондай-ақ плитаның қабырғалармен, диафрагмалармен және контур элементтерімен байланысу шарттары келтірілген. Әртүрлі шекаралық жағдайларда плитаның кернеу-деформация күйіне үзіліссіз параметрлердің әсерін көрсететін және оларды статикалық есептеулермен салыстыратын есептеу нәтижелері алынды.

Түйін сөздер: динамика, еден плитасы, үзіліссіз параметрлер, қабырғалар, диафрагмалар, контурлық қосылыстар, табиғи жиіліктер.

This paper develops a mathematical model of the dynamics of an elastic system with discontinuous parameters. It presents the basic dynamic equations for a monolithic plate with discretely located ribs, diaphragms, and the conditions for coupling the plate with ribs, diaphragms, and contour elements. Calculation results are obtained, the influence of discontinuous parameters on the stress-strain state of the slab under various boundary conditions is shown, and a comparison with static calculation is made.

Keywords: dynamics, floor slab, discontinuous parameters, ribs, diaphragms, contour connections, natural frequencies.

Введение

Реальные конструкции зданий и сооружений представляют собой сложную систему, состоящую из множеств элементов, соединенных между собой различными связями.

При моделировании реальных конструкций часто предполагается, что параметры системы (жесткость, масса, демпфирование и др.) изменяются непрерывно, однако в большинстве инженерных конструкций они имеют разрывный характер. Такие разрывы возникают в местах стыков и соединений элементов; при резком изменении жесткости или сечения элементов; при наличии диафрагм жесткости, ребер, вставок и усиления; при неоднородности материалов; при изменении жесткости основания сооружения.

Игнорирование таких особенностей может приводить к существенным погрешностям при определении собственных частот, форм колебаний, динамических усилий и перемещений конструкций. Поэтому разработка методов динамического анализа упругих систем с разрывными параметрами является важной задачей строительной механики и теории колебаний и имеет большое практическое значение при расчете зданий и сооружений в сейсмических районах. Оно заключается в возможности применения разработанной методики при динамическом и сейсмическом расчете строительных конструкций, включая каркасные здания; оболочечные конструкции; складчатые покрытия; системы с диафрагмами жесткости.

Одним из важных элементов каркасного здания являются плиты перекрытий. Целью данных исследований является разработать математическую модель монолитной плиты с разрывными параметрами жесткости, получить уравнения движения системы с учетом дискретных изменений параметров, позволяющие корректно учитывать влияние разрывов на динамические характеристики и напряженно-деформированное состояние плиты (НДС). В качестве разрывных параметров рассматриваются дискретно расположенные ребра жесткости, диафрагмы и контурные элементы.

Методы и материалы

Дифференциальное уравнение движения плиты с дискретно расположенными ребрами жесткости имеют следующий вид [1-5]:

$$D\nabla^4 w + \sum_i EI_r \delta(x - x_i) \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} + \rho h \ddot{w} = q(x, y, t) \quad (1)$$

В (1) введены следующие обозначения: w – прогиб плиты, D – цилиндрическая жесткость плиты, EI_r – изгибная жесткость ребра, ρ – плотность материала плиты, h – толщина плиты, $q(x, y, t)$ – интенсивность нормальной нагрузки, $\delta(x - x_i)$ – дельта функция.

Рассматриваются три расчетные схемы: плита без ребер и диафрагм, плита с дискретными ребрами жесткости и плита с различными сопряжениями с контурными элементами. Рассмотрим условия сопряжения плиты с ребрами жесткости по линии контакта [6-7]:

$$w_r(x_i, y, t) = w(x_i, y, t).$$

Совместность углов поворота:

$$\theta_r = \theta_p, \quad \frac{\partial w_r}{\partial y} = \frac{\partial w}{\partial y}.$$

Условия равновесия для изгибающих моментов для ребер вдоль оси у:

$$M_p(x_i^+, y) - M_p(x_i^-, y) = EI_r \frac{\partial^4 w}{\partial y^4}$$

Уравнение равновесия для поперечных сил:

$$Q_p(x_i^+, y) - Q_p(x_i^-, y) = \rho_r A_r \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + EI_r \frac{\partial^4 w}{\partial y^4}$$

Знаки «+» и «-» означают до и после ребер жесткости, A_r – площадь поперечного сечения ребра.

Базисные функции для плиты при различных условиях закрепления контура имеют следующий вид [1-3]:

$$w(x, y, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} W_{mn}(t) \phi_{mn}(x, y)$$

$\phi_{mn}(x, y)$ – базисные функции, удовлетворяющие граничным условиям, $W_{mn}(t)$ – обобщенные координаты.

При шарнирном опирании по контуру граничные условия имеют вид [6]:

$$W=0, M=0,$$

$$\phi_{mn}(x, y) = \sin\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{b}\right)$$

При жестком соединении граничные условия по контуру [6]:

$$w = 0 \quad \frac{\partial w}{\partial n} = 0$$

$$\phi_{mn}(x, y) = \left(1 - \cos \frac{2m\pi x}{a}\right) \left(1 - \cos \frac{2n\pi y}{b}\right)$$

или

$$\phi_{mn}(x, y) = x^2(a-x)^2 y^2(b-y)^2 P_{mn}(x, y)$$

P_{mn} – полином.

При полужестком соединении граничные условия следующие [6]:

$$M = k_{\theta} \theta,$$

k_{θ} – жесткость соединения.

$$\phi_{nm}(x, y) = \sin\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{b}\right) + \alpha \sin\left(\frac{(m+1)\pi x}{a}\right) \sin\left(\frac{(n+1)\pi y}{b}\right)$$

$$\alpha = f(k_\theta)$$

Коэффициент определяется из условий сопряжения.

Результаты и обсуждение

В качестве примера рассматривается монолитная плита со следующими размерами и характеристиками: размер плиты $a=b=24$ м, толщина $h=0.12$ м, модуль упругости бетона $E=3.0 \cdot 10^{10}$ Па, коэффициент Пуассона $\nu=0.2$, плотность $\rho=2500$ кг/м³, равномерная нагрузка $q=5$ кПа, параметры ребер жесткости: шаг ребер b м, высота ребра 0.40 м, ширина 0.30 м, изгибная жесткость $EI_r \approx 4.5 \cdot 10^9$ Нм².

Предполагается наличие двух железобетонных диафрагм по центральным осям здания: толщина $t=200$ мм, высота 3.6 м.

Полученные в результате расчета представлены в таблицах 1–2. В таблице 1 представлены значения собственных частот поперечных колебаний плиты для 3 основных форм колебаний, значения максимальных изгибающих моментов, поперечных сил и прогибов в плите при динамических и статических воздействиях с учетом и без учета разрывных параметров.

Таблица 1 – Значения собственных частот поперечных колебаний плиты для 3 основных форм колебаний, значения максимальных значений изгибающих моментов, поперечных сил и прогибов в плите при динамических и статических воздействиях

Значения собственных частот поперечных колебаний плиты с разрывными параметрами для 3 основных форм колебаний			
Формы колебаний	Без ребер, Гц	С ребрами, Гц	С ребрами и диафрагмами, Гц
1	3,7	5,6	6,2
2	5,3	6,8	8,5
3	7,1	9,0	11,4
Значения максимальных значений изгибающих моментов, поперечных сил и прогибов в плите при динамических воздействиях			
Максимальные изгибающие моменты, $M_x=M_y$, кНм/м	54	40	36
Максимальные поперечные силы, $Q_x=Q_y$, кН	78	64	58
Максимальные прогибы, мм	44	29	20
Значения максимальных значений изгибающих моментов, поперечных сил и прогибов в плите при статических воздействиях			
Максимальные изгибающие моменты, $M_x=M_y$, кНм/м	48,6	36	32,4
Максимальные поперечные силы, $Q_x=Q_y$, кН	30	26	23
Максимальные прогибы, мм	39	26	18

В таблице 2 показано влияние условий соединения плиты с контурными элементами на значения собственных частот, максимальных значений изгибающих моментов, поперечных сил и прогибов в плите при наличии разрывных параметров.

Анализируя полученные результаты, можно сделать следующие обобщения: ребра увеличивают частоты примерно на 30–35%, диафрагмы дополнительно увеличивают их еще на 20–25 %, снижение моментов при наличии ребер составляет $\approx 25\%$, при наличии диафрагм $\approx 30\text{--}35\%$, Поперечные силы уменьшаются примерно 20–25% за счет перераспределения жесткости, ребра уменьшают прогиб примерно 30–35%.

Таблица 2 – Влияние условий соединения плиты с контурными элементами на значения собственных частот, максимальных значений изгибающих моментов, поперечных сил и прогибов в плите при наличии разрывных параметров

Тип соединения плиты с контурными элементами	Частота собственных колебаний, Гц	Максимальные значения изгибающих моментов, кНМ/м	Максимальные значения поперечных сил, кН	Максимальные значения прогибов, мм
шарнирное	5,1	39	70,2	28
полужесткое	5,8	44	49,6	22
жесткое	6,5	52	61	17

Введение ребер и диафрагм приводит к следующим эффектам: ребра жесткости увеличивают изгибную жесткость перекрытия, уменьшают прогибы, перераспределяют моменты между панелями плиты.

Диафрагмы работают как вертикальные элементы жесткости, уменьшают деформации перекрытия, изменяют формы колебаний системы.

Вывод

1. Полученные результаты показывают, что учет дискретных ребер жесткости и диафрагм существенно влияет на динамическое напряженно-деформированное состояние плиты перекрытия: собственные частоты увеличиваются до 60%, изгибающие моменты уменьшаются до 35%, прогибы уменьшаются до 50%.

2. Разработанная математическая модель позволяет более точно учитывать разрывные параметры конструкции, что особенно важно при динамическом и сейсмическом расчете зданий. Дискретные ребра жесткости существенно изменяют динамические характеристики плиты: наличие ребер приводит к увеличению собственных частот на 20–35%, уменьшению прогибов на 30–35%. Условия соединения плиты с контурными элементами оказывают существенное влияние на НДС системы: жесткое соединение приводит к увеличению собственных частот до 25–30%, уменьшению прогибов до 40%, росту отрицательных моментов у опор.

Литература:

1. Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С. Пластинки и оболочки. – М.: Наука, 1966.
2. Александров А.В., Потапов В.Д. Основы теории упругости и пластичности. – М.: Высшая школа, 1990.
3. Кадисов Г.М. Динамика и устойчивость сооружений. – М.: АСВ, 2012. – С. 272.
4. Смирнов А.Ф., Александров А.В., Лаценников Б.Я., Шапошников Н.Н. Строительная механика. Динамика и устойчивость сооружений. – М.: Стройиздат, 2012. – С. 416.
5. Кисилев В.А. Строительная механика. Динамика и устойчивость сооружений. – М.: Стройиздат, 2014. – С. 616.
6. Кусаинов А.А., Достанова С.Х., Полякова И.М. Динамика и устойчивость сооружений: Учебное пособие. – Алматы, 2017. – 236 с.
7. Достанова С.Х., Волошина Е., Ким К., Тилеген Ж. Вариационные методы к расчету плит перекрытий с учетом дискретных включений // Материалы XXXI студ. науч.-практ. конф., посвящен. Посланию президента республики народу Казахстана «Новый Казахстан в новом мире». – Алматы, 2007. – С. 119-222.

Муратов А.Т., магистрант, Сатпаев университет
Достанова С.Х., д.т.н., профессор, Сатпаев университет

СЕЙСМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЗДАНИЙ С ДЕФОРМИРУЕМЫМИ ОПОРНЫМИ СВЯЗЯМИ

В работе рассматривается сейсмический анализ зданий с деформируемыми опорными связями. Представлена математическая модель здания с учётом деформируемых опор. Получены собственные частоты горизонтальных колебаний, максимальные этажные сейсмические нагрузки и перемещения для жесткого защемления, полужестких опор и податливые опоры. Сделан анализ состояний здания с деформируемыми опорными связями.

Ключевые слова: расчетная модель, собственные колебания, сейсмическая нагрузка, опорные связи, перемещения.

Бұл мақалада деформацияланатын тірек байламдары бар ғимараттардың сейсмикалық талдауы қарастырылады. Деформацияланатын тіректерді ескере отырып, ғимараттың математикалық моделі ұсынылған. Қатты, жартылай қатты және икемді тіректерге көлденең тербелістердің табиғи жиіліктері, бір қабаттағы максималды сейсмикалық жүктемелер және ығысулар алынған. Деформацияланатын тірек байламдары бар ғимараттың жағдайына талдау жасалды.

Түйін сөздер: есептеу моделі, табиғи тербелістер, сейсмикалық жүктеме, тірек байламдары, ығысулар.

This paper examines the seismic analysis of buildings with deformable support ties. A mathematical model of the building is presented, taking into account deformable supports. The natural frequencies of horizontal vibrations, maximum seismic loads per story, and displacements are obtained for rigid, semi-rigid, and flexible supports. An analysis of the state of a building with deformable support ties was made.

Keywords: computational model, natural vibrations, seismic load, support connections, displacements.

Введение

Поведение зданий при сейсмических воздействиях представляет собой сложный процесс, который требует учитывать множество факторов, включая взаимодействие «сооружение-основание», податливые защемления, полужесткие узлы. Одной из важных задач сейсмостойкого строительства является разработка методов расчета зданий и сооружений, позволяющих наиболее точно оценить возможности конструкций сопротивляться различным сейсмическим воздействиям. Анализ возможных последствий (разрушений) дает информацию для проектирования более сейсмостойких конструкций, нахождения экономичных решений, повышения их безопасности, усиления уже поврежденных зданий и сооружений. Сейсмическая нагрузка определяется в предположении упругого деформирования конструкций, а образование остаточных деформаций, трещин, пластических зон производится условными эмпирическими коэффициентами, которые не зависят ни от интенсивности землетрясения, ни от свойств самого сооружения. Вместе с тем, реальные условия деформирования конструкций при сейсмических воздействиях очень сложные [1-7]. Сейсмическая нагрузка, помимо особенностей воздействия, зависит также и от динамических характеристик зданий и сооружений. При сильных землетрясениях в конструкциях появляются и развиваются повреждения. Это приводит к изменению их жесткостных и динамических характеристик. В процессе сейсмического воздействия сооружение изменяет свои свойства столько раз, сколько циклов нагружения (толчков) оно перенесло за время землетрясения, и, по существу, на каждом этапе должно рассматриваться сооружение с новыми характери-

ками. Кроме того, к моменту землетрясения в зданиях и сооружениях уже существует то или иное напряженно-деформированное состояние, вызванное действием их собственного веса, полезных нагрузок, тектонических движений грунтов, неравномерных осадок, усадочных и температурных напряжений.

Рассмотрим краткий анализ теоретических и экспериментальных данных по сейсмостойкости зданий. Например, в [1,2] представлен современный комплексный подход к расчету железобетонных зданий с учетом взаимодействия конструкции с грунтовым основанием в условиях сейсмического воздействия. В качестве примера подход был применен при расчете пятиэтажного железобетонного здания на сейсмическое воздействие. Внешнее воздействие задавалось трехкомпонентной акселерограммой девятибалльного землетрясения, взаимодействие здания с грунтовым основанием было реализовано посредством SSI-интерфейса (англ. soil-structure interaction).

В [3-5] представлены методики оценки сейсмостойкости зданий и сооружений. В [3] рассматривается применение сейсмоизоляции. В качестве объекта исследования выбрано 8-этажное жилое железобетонное здание рамно-связевой конструктивной схемы. Для анализа отклика сооружения использовались нелинейные методы расчета на сейсмическое воздействие: нелинейный статический (Pushover) и нелинейный динамический анализ во временной области (Nonlinear Time History Analysis, NLTHA). Расчет производится в свободно распространяемой программе STERA 3D. Динамический расчет осуществлялся на семь пар горизонтальных компонент акселерограмм, выбранных в соответствии с параметрами возможных землетрясений для рассматриваемой площадки строительства (г. Бандунг).

Сейсмоизоляция под фундаментом здания имеет ту особенность, что нижняя плита сейсмоизолирующей системы (СИС) взаимодействует с грунтовым основанием в [6-7]. Эти эффекты взаимодействия особенно важны для тяжелых сооружений. В терминах платформенной модели системы «сооружение-основание» под нижней плитой как бы установлен «грунтовой подвес» с определенной жесткостью и демпфированием, а СИС представляет собой второй подвес подобной структуры, последовательно соединенный с первым через нижнюю плиту СИС. Комбинированный эффект от двух этих подвесов зависит от сочетания их параметров. В работе на простейшей одномерной линейной модели делается попытка аналитического изучения влияния СИС на сейсмическую реакцию сооружения с учетом его динамического взаимодействия с основанием.

В настоящее время строятся сложные по своей конструкции, размеров и геометрии, технологии возведения здания, вместе с этим одновременно повышаются требования к их эксплуатации и надежности. Возникают новые проблемы и сложности, для преодоления которых необходимо развитие и совершенствование новых расчетных моделей, теоретических и экспериментальных разработок по проектированию и расчету сейсмостойких зданий и сооружений. Одним из путей решения создания сейсмостойких зданий является учет реальной жесткости опорных связей. При сейсмическом анализе зданий традиционная расчётная схема с абсолютно жёстким защемлением в уровне фундамента не отражает реальных условий работы сооружения. В действительности опорные связи обладают конечной жёсткостью, обусловленной деформируемостью грунтового основания; податливостью фундаментных конструкций; полужёстким характером сопряжений «фундамент – колонна»; возможным развитием трещин и нелинейных деформаций. В расчётной модели это приводит к необходимости перехода от классического защемления к упругим или вязкоупругим опорным связям, что принципиально изменяет динамическое поведение системы.

Методы и материалы

Математическая модель здания представлена в виде: с учётом деформируемых опор уравнения движения здания при сейсмическом воздействии записываются в виде:

$$Mu'' + Cu' + (K + K_s)u = -Mr u''(t), \omega \quad (1)$$

где M – матрица масс, C – учитывает силы сопротивления, дополнительная матрица K_s описывает жёсткость опорных связей, u – горизонтальное смещение, в правой части – сейсмическое воздействие. В правой части уравнения движения сейсмическое воздействие задаётся в виде инерционных сил, обусловленных ускоренным движением основания, и определяется произведением матрицы масс на ускорение основания. Таким образом, сейсмическая нагрузка формируется не как внешняя сила, а как отклик масс сооружения на заданное сейсмическое ускорение.

Для решения (1) используем спектральный метод. Для определения частот собственных колебаний сейсмическую нагрузку полагаем равной нулю. Решение ищется в виде гармонической функции с частотой ω . Получается однородное уравнение, полагая детерминант системы нулю, получаем частотное уравнение, из которого определяются частоты собственных колебаний ω_i :

$$(K + K_s)\varphi_i = \omega_i^2 M\varphi_i \quad (2)$$

где φ_i – определяет собственные формы колебаний.

Вектор инерционных сил выражается через ускорение основания:

$$F_s(t) = -Mr u''(t) \quad (3)$$

где r – вектор направления сейсмического воздействия; $u''(t)$ – ускорение основания во времени; знак « $-$ » означает, что инерционные силы направлены против ускорения основания. Спектральное ускорение определяется по формуле:

$$S_d(T_1) = \frac{a_g \cdot S}{q} \quad (4)$$

где S – коэффициент грунтовых условий, учитывающий влияние инженерно-геологических характеристик площадки строительства на интенсивность сейсмического воздействия, q – коэффициент поведения, a_g – расчетное ускорение.

Сейсмические силы по этажам определяются по следующей формуле:

$$F_i = m_i \cdot S_d \quad (5)$$

Модальная сейсмическая сила:

$$F_i = M\varphi_i \Gamma_i S_d(T_i) \quad (6)$$

где Γ_i – коэффициент участия формы.

Результаты и обсуждение

В качестве расчётного примера рассматривается трёхэтажное железобетонное каркасное здание, типичное для административной застройки. Геометрические параметры: число этажей – 3; высота этажа – 3,3 м; шаг колонн – 6,0 м; пролёт ригелей – 6,0 м. Конструктивная схема: пространственный железобетонный каркас; перекрытия работают как жёсткие диски в своей плоскости; вертикальные нагрузки не учитываются в динамическом расчёте. Массы сосредоточены на уровне перекрытий; приведённая масса одного этажа – $m=450$ т.

Опорные связи колонн первого этажа моделируются упругими пружинами по горизонтали и на поворот, что позволяет учесть податливость системы «фундамент–основание».

Рассматриваются три расчётных случая:

1. Жесткое защемление, $k_s = \infty$;
2. Полужесткие опор, $k_s = 0,3k_0$;
3. Податливые опоры, $k_s = 0,1k_0$, где k_0 – эквивалентная жесткость первого этажа

В результате расчета получены следующие данные:

В таблице 1 представлены частоты и периоды собственных колебаний для 3 случаев изменения жесткости опор.

Таблица 1 – Частоты и периоды собственных колебаний для 3 случаев изменения жесткости опор

Опоры	Первая частот, Гц	Период, сек	Изменение периода
1	2,05	0,49	
2	1,62	0,62	+27%
3	1,28	0,78	+59%

В таблице 2 представлены максимальные этажные сейсмические силы.

Таблица 2 – Максимальные этажные сейсмические силы

Случай	Суммарная сейсмическая сила, %	Изменение
1	100%	
2	86%	-14%
3	72%	-28%

В таблице 3 представлены максимальные перемещения и поэтажные перекосы.

Таблица 3 – Максимальные перемещения и поэтажные перекосы.

Случай	Макс. перемещения верха, мм	Увеличение
1	38	
2	52	37%
3	68	79%

Вывод

1. Спектральный анализ показывает, что при увеличении податливости опор: расчётные сейсмические силы по этажам уменьшаются (за счёт роста периода); изменяется форма распределения усилий по высоте; возрастает роль инерционных сил в нижних этажах.

2. Анализ НДС элементов каркаса выявляет: уменьшение изгибающих моментов у основания колонн; рост моментов в средних и верхних этажах; перераспределение поперечных сил между колоннами и диафрагмами.

3. Наиболее критичным следствием учёта деформируемых опор является рост горизонтальных перемещений и межэтажных перекосов. Результаты расчётов показывают: увеличение максимальных перемещений на 20–60%; рост межэтажных перекосов, определяющих повреждаемость; возможное превышение предельных состояний по пригодности к эксплуатации.

Литература:

1. Мкртычев О.В., Решетов А.А. Комплексный подход к расчету и проектированию сейсмостойких железобетонных зданий и сооружений. // Известия Российской АН. Механика твердого тела. №5, НИУ МГСУ. – М., 2025. – С. 206-226.
2. Тяпин А.Г. Расчет сооружений на сейсмические воздействия с учетом взаимодействия с грунтовым основанием. – М.: Изд. АСВ, 2013. – 399 с.
3. Абаев З.К. Оценка сейсмостойкости многоэтажного жилого здания с фрикционно-маятниковыми опорами на примере Индонезии. // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2024. – 20 (1). – С. 7-72.
4. Соргутов И.В. Оценка сейсмического характера многоэтажных железобетонных зданий при обследовании. [https://cyberleninka.ru › article › otsenka-seysmicheskii](https://cyberleninka.ru/article/view/otsenka-seysmicheskii).
5. Хачатрян С.О. Спектрально-волновая теория сейсмостойкости // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2004. – №3. – С. 58-61.
6. Родин В.П., Трифонов О.В., Чирков В.П. Модель многоэтажного каркасного здания при интенсивных сейсмических воздействиях // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2001. – №1. – С. 23-26.
7. Марчук Н.И., Тимофеева В.А., Игнатикова Н.Н. Расчет многоэтажного здания на сейсмические воздействия // Новая наука: опыт, традиции, инновации. – 2017. – Т. 2. – № 4. – С. 199–201.

УДК 614.841.332

Мустафин А.Д., ст. гр. РПЗС-23-6 МОК (КазГАСА)

Касымова Г.Т., к.т.н., ассоц. профессор МОК (КазГАСА)

АНАЛИТИКО-ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ БАЛКИ С УЧЁТОМ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

В данной работе проведены аналитико-численные исследования балки с разными опорами при действии температурных нагрузок, определены закономерности изменения прогибов и оценено влияние температуры на поведение конструкции.

Ключевые слова: стальная балка, температурные воздействия, аналитико-численное исследование, линейное расширение материала, изгибная жёсткость конструкции.

Бұл жұмыста температуралық жүктемелердің әсерінен әртүрлі тіректі арқалықтарға аналитикалық және сандық зерттеулері жүргізілді, орын ауыстырулардың өзгеру заңдылықтары анықталды және температураның конструкцияға әсері бағаланды.

Түйін сөздер: болат арқалық, температуралық әсерлер, аналитикалық және сандық зерттеу, материалдың сызықтық кеңеюі, құрылымның иілу қаттылығы.

In this work, analytical and numerical studies of a beam with different supports under the action of temperature loads were carried out, the patterns of change in deflections were determined and the influence of temperature on the behavior of the structure was assessed.

Keywords: steel beam, temperature effects, analytical and numerical study, linear expansion of material, bending rigidity of the structure.

Введение

В современном строительстве особое внимание уделяется вопросам прочности, жёсткости и устойчивости конструкций при воздействии внешних факторов. Одним из наиболее значимых факторов является изменение температуры окружающей среды, которое вызывает тепловые деформации элементов конструкций. Особенно чувствительными к температурным воздействиям являются балки – основные элементы строительных и инженерных систем.

Температурные изменения могут приводить к дополнительным напряжениям и перемещениям, влияющим на эксплуатационную надёжность конструкции. В ряде случаев температурные деформации становятся причиной потери устойчивости, появления трещин или разрушения конструкций. Поэтому исследование перемещений балки с учётом температурных воздействий представляет собой актуальную инженерную задачу.

Цель данной работы – провести аналитико-численное исследование перемещений балки при действии температурных нагрузок, определить закономерности изменения прогибов и оценить влияние температуры на поведение конструкции.

1. Теоретические основы исследования балки

Балкой называется конструктивный элемент, длина которого значительно превышает размеры поперечного сечения и который воспринимает нагрузки преимущественно на изгиб.

При изменении температуры происходит линейное расширение материала:

$$\Delta l = \alpha l \Delta T, \quad (1)$$

где Δl – изменение длины; α – коэффициент температурного расширения; l – первоначальная длина; ΔT – изменение температуры.

Перемещения в балке возникают под действием внешних нагрузок и зависят от геометрических характеристик балки, физико-механических свойств материала, схемы закрепления, вида и величины нагрузки [1-2].

Основное дифференциальное уравнение изгиба балки:

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = M(x), \quad (2)$$

где E – модуль упругости материала; I – момент инерции сечения; y – прогиб балки; $M(x)$ – изгибающий момент.

При наличии температурных воздействий в уравнение добавляются температурные составляющие [5].

2. Аналитическое исследование температурных перемещений

Если температура распределяется равномерно по сечению балки, то возникает продольное удлинение. При неравномерном распределении температуры появляется изгиб [5].

Кривизна балки при температурном градиенте определяется выражением:

$$\kappa = \alpha \frac{\Delta T}{h}, \quad (3)$$

где κ – кривизна; h – высота сечения; ΔT – разность температур.

Тогда прогиб балки можно представить как:

$$w(x) = \frac{\kappa x(L-x)}{2}. \quad (4)$$

Из выражения видно, что увеличение температурного перепада приводит к росту прогиба.

Аналитический пример расчёта.

Рассмотрим стальные балки с разными опорами, длиной l (рис. 1).

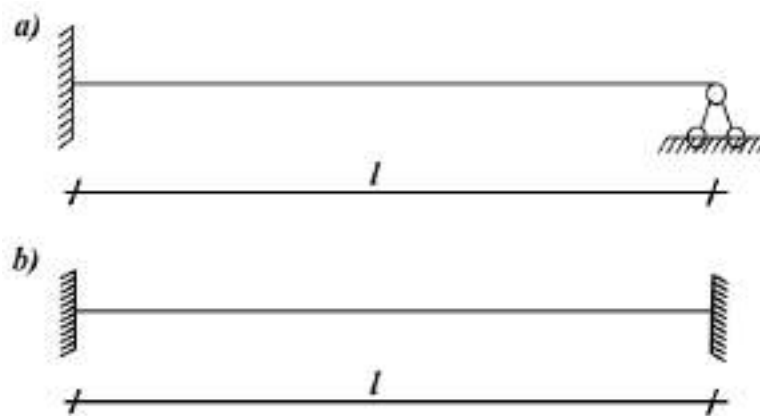


Рисунок 1 – Расчетные схемы балки с разными закреплениями.

Принимаем $E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$; Коэффициент линейного расширения материала $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ град}^{-1}$.

$$\Delta_{it} = \sum \int \bar{M}_i d\varphi + \sum \int \bar{N}_i \varepsilon dx.$$

$$\Delta_{it} = \sum \alpha \frac{|t_1 - t_2|}{h} \int \bar{M}_i dx + \sum \alpha |t_0| \int \bar{N}_i dx.$$

$\int \bar{M}_i dx = \omega_{\bar{M}}$; $\int \bar{N}_i dx = \omega_{\bar{N}}$ – площади единичных эпюр моментов и продольных сил.

$$\Delta_{it} = \sum \alpha \frac{|t_1 - t_2|}{h} \omega_{\bar{M}} + \sum \alpha |t_0| \omega_{\bar{N}}.$$

3. Численное исследование балки.

Для численного анализа применяли расчет на ПК Лира [3-4].

После расчета получены результаты для двух случаев а) и б), т.е. эпюры внутренних сил (рис. 2–6).

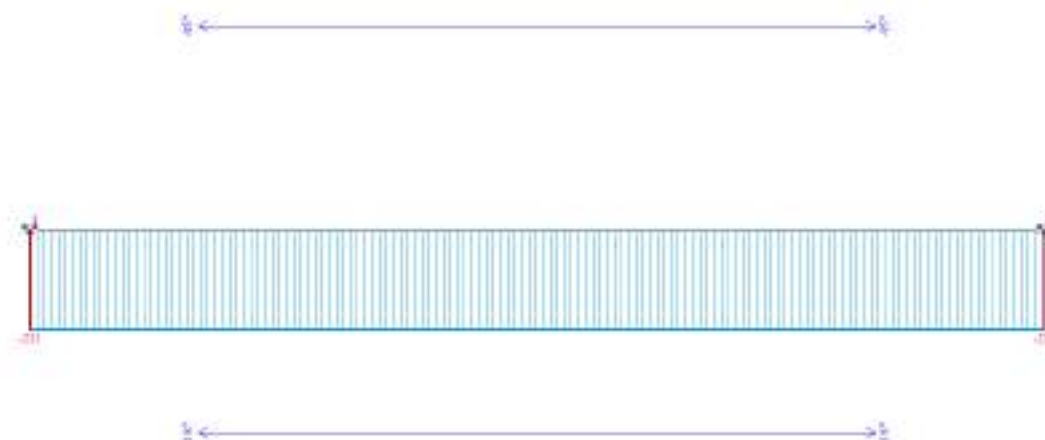


Рисунок 2 – Эпюра продольной силы N, для случая а).



Рисунок 3 – Эпюра изгибающего момента M , для случая а).



Рисунок 4 – Эпюра продольной силы N , для случая б).



Рисунок 5 – Эпюра поперечной силы Q , для случая б).



Рисунок 6 – Эпюра изгибающего момента M , для случая б).

Преимущества численного метода: возможность анализа сложных конструкций; учёт неоднородности температуры; высокая точность расчётов; автоматизация вычислений [3-4].

При расчете на ПК Ли́ра были получены следующие результаты (табл. 1):

Таблица 1 – Результаты

Балки	N, кН	Q, кН	M, кНм	Δ , мм	Δt	Допустимый прогиб
Случай а)	211	0	6,15	56,1	4,05	40 мм
Случай б)	211	0,923	9,23	0	0	40 мм

Из таблицы видно, что рост температуры приводит к существенному увеличению прогиба балки. Зависимость носит практически линейный характер в пределах упругой работы материала.

Сравнение аналитического и расчета на ПК Ли́ра

Аналитические методы позволяют получить общие закономерности поведения балки и вывести точные формулы для простых случаев. Однако при сложных условиях нагружения и неоднородном температурном поле их применение затруднено.

Расчет на Лире обладает большей универсальностью и учитывает сложную геометрию конструкции, переменные температурные поля, нелинейные свойства материалов и различные типы закреплений [3-4].

Сравнение результатов показало хорошее совпадение аналитических и расчетов на Лире, что подтверждает корректность используемых моделей.

Заключение

В ходе работы выполнено аналитико-численное исследование перемещений балки при действии равномерно распределённой нагрузки и температурных воздействий. Установлено, что величина прогибов определяется изгибной жёсткостью конструкции, зависящей от модуля упругости материала и геометрических характеристик сечения.

Сравнительный анализ показал, что балки с более высоким модулем упругости и большей жёсткостью обладают меньшими прогибами. Существенное влияние на деформированное состояние оказывает также схема закрепления: конструкции с заделкой характеризуются меньшими перемещениями по сравнению со статически определимыми схемами.

Вышеприведенное исследование показывает, что с увеличением температурного перепада возрастают прогибы и внутренние напряжения конструкции. Для инженерной практики это означает необходимость обязательного учёта температурных факторов при проектировании строительных конструкций.

Применение аналитических и расчет на Лире в комплексе позволяет повысить точность расчётов и обеспечить надёжность конструкций в реальных условиях эксплуатации.

Литература:

1. Тимошенко С.П. Сопротивление материалов. – М.: Наука, 2018.
2. Расчет статически определимых систем: практикум для студентов «Строительство» / Сост.: М.И. Ганджунцев, А.А. Петраков. – М.: ФГБОУ ВПО «МГСУ», 2015. – 64 с.
3. Городецкий А.С., Барабаш М.С., Сидоров В.Н. Компьютерное моделирование в задачах строительной механики: Учеб. пособие. – М.: Издательство АСВ, 2016. – 338 с.
4. ЛИРА версия 9.0. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций. Справочно-теоретическое пособие под ред. А.С. Городецкого – К – М.: ФАКТ, 2003.–464с.
5. Достанова С.Х., Касымова Г.Т. Құрылыс механикасының есептерін шығаруға арналған жетекшілік. – Алматы: ХБК, 2011.

Наиль Д., ст. гр. РПЗС 24-13, **Серіков Д.**, ст. гр. ТПГС 24-6, **Джамалов Ж.**, ст. гр. ТПГС 24-6, **Көбелдес Н.**, ст. гр. ТПГС 24-6, **Карибов О.**, ст. гр. ТПГС 24-6, МОК (КазГАСА) **Ташкеева Г.К.**, к.п.н., профессор МОК (КазГАСА)

СЕЙСМОСТОЙКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТРАНСГРАНИЧНОГО ТУННЕЛЯ АЛМАТЫ – ИССЫК-КУЛЬ

В статье рассматривается проект строительства 18-километрового двухтрубного горного тоннеля между Алматы и озером Иссык-Куль. Основной задачей является обеспечение устойчивости сооружения в сложных геодинамических условиях Северного Тянь-Шаня (до 27 разломов, сейсмичность 9–10 баллов). Методика включает анализ напряжённо-деформированного состояния, численное моделирование методом конечных элементов (ANSYS) и изучение мирового опыта. Установлено, что применение сейсмоизоляции и телескопических стальных колец обеспечивает надёжность конструкции. Проект позволяет сократить путь до 120 км и имеет высокий экономический эффект.

Ключевые слова: туннелестроение, сейсмостойкое проектирование, Северный Тянь-Шань, Алматы – Иссык-Куль, активный разлом, численное моделирование, ANSYS, податливая крепь, ЕАЭС.

Бұл жұмыста Алматы мен Ыстықкөлді байланыстыратын ұзындығы 18 км болатын екі құбырлы тау тоннелінің құрылысы қарастырылады. Негізгі мәселе – Солтүстік Тянь-Шаньның күрделі геодинамикалық жағдайларында (27-ге дейін жарылымдар, 9–10 балл сейсмикалық белсенділік) тұрақтылықты қамтамасыз ету. Әдістеме кернеулі-деформациялық күйді талдауды, соңғы элементтер әдісімен модельдеуді (ANSYS) және әлемдік тәжірибені қамтиды. Нәтижелер сейсмооқшаулау мен телескопиялық болат сақиналарды қолдану құрылымның сенімділігін арттыратынын көрсетті. Жоба жолды 120 км-ге дейін қысқартып, жоғары экономикалық тиімділік береді.

Түйін сөздер: туннель құрылысы, сейсмикалық төзімді жобалау, Солтүстік Тянь-Шань, Алматы – Ыстықкөл, белсенді жарылым, сандық модельдеу, ANSYS, икемді бекітпе, ЕАЭО.

This study examines the construction project of an 18 km twin-tube mountain tunnel connecting Almaty and Lake Issyk-Kul. The key challenge is ensuring structural stability under complex geodynamic conditions of the Northern Tien Shan (up to 27 faults, seismicity up to 9–10 intensity). The methodology includes stress-strain analysis, finite element modeling (ANSYS), and a review of global practices. The results show that the use of seismic isolation and telescopic steel rings ensures structural integrity. The project is expected to reduce travel distance by up to 120 km and generate significant economic benefits.

Keywords: tunnel construction, seismic-resistant design, Northern Tien Shan, Almaty - Issyk-Kul, active fault, numerical modeling, ANSYS, flexible support, EAEU.

Актуальность развития транспортной связности в Центральноазиатском регионе обусловлена стратегическими задачами экономической интеграции в рамках Евразийского экономического союза (ЕАЭС). Алматы, являясь крупнейшим финансовым центром Казахстана, географически отделен от Иссык-Кульской котловины мощными горными хребтами Заилийского Алатау и Кюнгей-Ала-Тоо. В настоящее время основное автомобильное сообщение осуществляется по маршруту протяженностью около 460–485 км через поселок Кордай и город Бишкек, что требует до 8 часов пути [1, 2].

Существующий проект дороги через перевал Кастек (3200 м) сталкивается с климатическими ограничениями и высокой стоимостью содержания в зимний период. В этой связи прокладка прямого горного туннеля длиной 18 км через хребет Кюнгей-Ала-Тоо рассматривается как единственное технологически обоснованное решение, способное сократить путь до 120 км (в ряде вариантов до 80–85 км) и уменьшить время в пути до 1,5–3 часов [1].

Проектирование в Северо-Тянь-Шаньском регионе сопряжено с техническими рисками. Алматинский регион характеризуется активной тектоникой с наличием 27 выявленных активных разломов, способных генерировать землетрясения магнитудой до 7,5–8,0. Трасса туннеля неизбежно будет пересекать зоны тектонического дробления, что требует разработки специальных проектных схем сейсмоизоляции [2].

Целью данной работы является обоснование технической возможности и социально-экономической значимости строительства туннеля Алматы – Иссык-Куль. Для достижения цели решаются задачи анализа геодинамической обстановки, изучения опыта строительства сверхглубоких туннелей в сложных породах и вариантного моделирования напряжений в обделке сооружения.

Методологический аппарат исследования построен на методах математической физики, геомеханики и системного анализа.

1. Теоретический анализ НДС: применены положения теории упругости и пластичности. Расчёт выполнен по методу предельных состояний с учётом изгибающих моментов и осевых усилий при сейсмическом воздействии.

2. Численное моделирование (FEM): использован метод конечных элементов в ANSYS Workbench 2021R2. Создана 3D-модель участка тоннеля (150 м) с учётом контакта тюбингов и динамического воздействия. Сейсмика моделировалась методом Time-History с использованием акселерограмм реальных землетрясений.

3. Сравнительный инженерный анализ: рассмотрен опыт строительства Сен-Готтардского базисного тоннеля, включая проходку в «выжимающих» породах и системы мониторинга деформаций.

4. Прогнозно-экономическая оценка: применены методы дисконтирования денежных потоков и анализа влияния проекта на региональный ВВП.

Алматинский регион расположен в зоне коллизии литосферных плит, что обуславливает ежегодную регистрацию сотен подземных толчков. При проектировании 18-километрового туннеля критическим фактором является не только ускорение грунта (до 0,32g), но и риск косейсмических разрывов в зонах пересечения активных разломов. По опыту проектирования аналогичных объектов в сейсмоактивных зонах конструкции должны быть рассчитаны на относительные смещения пластов до 2,3 м [3].



Рисунок 1 – Схема прокладки туннеля сквозь горные хребты.

Международный опыт: Сен-Готтардский базисный туннель является одним из наиболее значимых инфраструктурных проектов современной Европы и служит эталонным примером тоннельного строительства в сложных инженерно-геологических

условиях. Его протяжённость составляет около 57 км, а глубина заложения достигает 2300–2450 м, что делает его самым длинным и одним из наиболее глубоких железнодорожных тоннелей в мире [4]. Ключевым вызовом являлось прохождение зон «выжимающих» пород, склонных к значительным пластическим деформациям под действием горного давления. Для решения данной задачи была реализована концепция податливой крепи с применением скользящих стальных арочных конструкций (ТН-профилей), обеспечивающих контролируемое радиальное деформирование массива (до 80 см) без потери несущей способности. По мере стабилизации напряжённого состояния крепь переходила к режиму жёсткого сопротивления [5]. Конструктивная надёжность обеспечивалась многослойной системой отделки, включающей первичную набрызг-бетонную крепь, вторичную монолитную железобетонную отделку и гидроизоляционный контур, предотвращающий водопритоки и повышающий долговечность сооружения [4]. Существенное значение имел непрерывный геомеханический и сейсмический мониторинг, позволявший своевременно выявлять зоны повышенного напряжённого состояния и корректировать параметры проходки и крепления [6]. Таким образом, опыт строительства Сен-Готардского базисного туннеля демонстрирует эффективность комплексного подхода, основанного на сочетании адаптивных конструктивных решений, многоуровневой системы отделки и непрерывного мониторинга, что является релевантным для условий региона Алматы – Иссык-Куль [2].

Согласно проектным предложениям, туннель проектируется как двухтрубный: одна нитка для двухполосного автомобильного движения, вторая – для двухпутной железной дороги [1].



Рисунок 2 – 3Д модель предполагаемого туннеля, со стороны Казахстана

Параметр	Автомобильный туннель	Железнодорожный туннель
Протяженность (L)	≈18 км	≈18 км ¹
Внутренний диаметр	≈10–12 м	≈10 м ¹
Тип отделки	Железобетонная (М400–М500)	Железобетонная (М400–М500) ¹
Толщина отделки (δ)	0,7–1,0 м	0,8–1,0 м ¹
Класс вмещающих пород	IV–V (скальные породы)	IV–V (скальные породы) ¹
Сейсмостойкость	Гибкие вставки (shear keys), демпферы	Гибкие вставки (shear keys), демпферы ¹

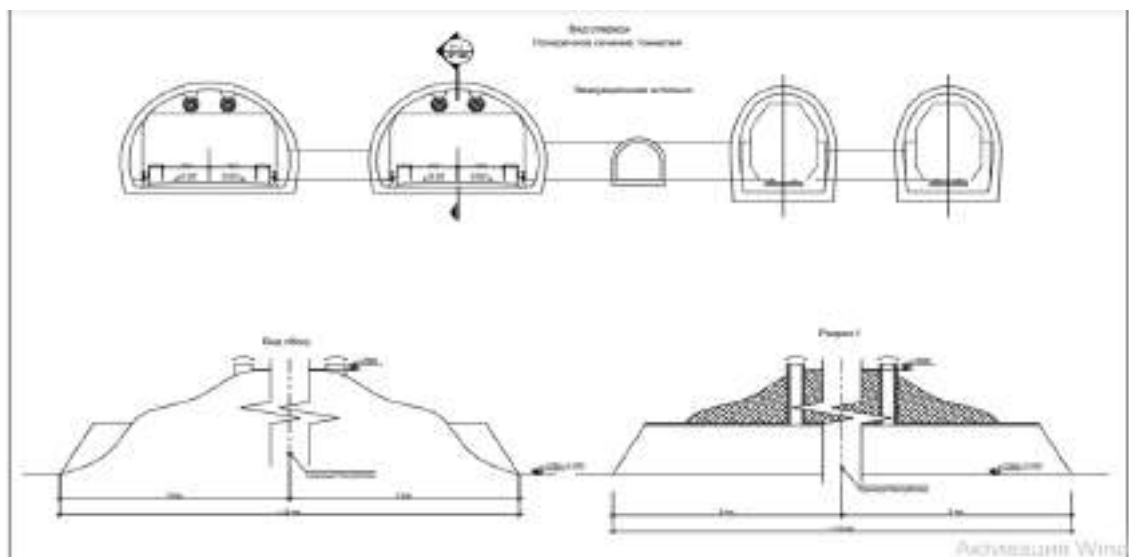


Рисунок 3 – Поперечное сечение туннелей.

В ходе моделирования в ANSYS Workbench установлено, что в зонах разломов напряжения в обделке значительно возрастают. Пиковые значения главных напряжений (до 25,56 МПа) фиксируются в пятовой части свода. Для компенсации этих усилий предложено использование расширенного сечения в зонах разломов (over-excavation) с заполнением зазора амортизирующим слоем из дробленой породы или резиновых демпферов. Анализ показал, что полукруглое арочное сечение является оптимальным для распределения горизонтального давления горных пород, характерного для Северного Тянь-Шаня [7].

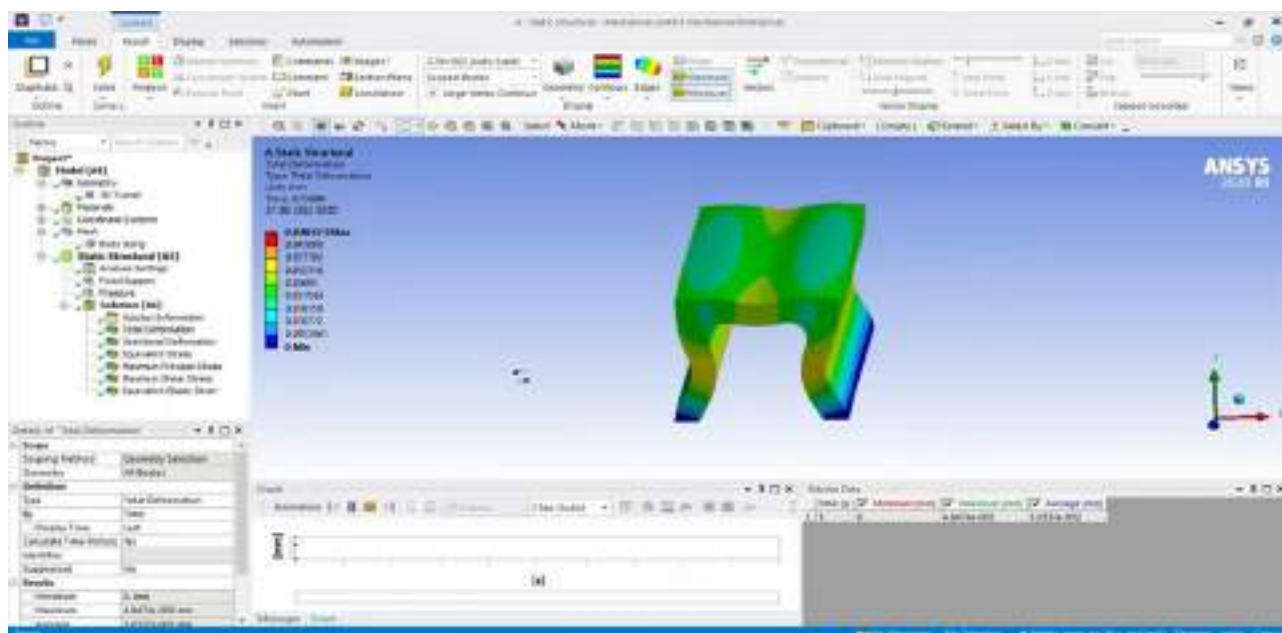


Рисунок 4 – Расчет нагрузки на туннель через программу ANSYS Workbench.

На 2026 год проект перешел в стадию разработки технико-экономического обоснования (ТЭО) при поддержке Азиатского банка развития (АБР). Завершение ТЭО ожидается к сентябрю 2026 года. Проект рассматривается как альтернатива 277-километровому наземному маршруту через Кечи-Кемин [2].

Сокращение пути на 280 км позволит уменьшить время в пути до 1,5-3 часов. По оценкам АБР, проект будет ежегодно прибавлять до \$165 млн к ВВП Казахстана и до \$439 млн к ВВП Кыргызстана (до 6,7% ВВП КР). Окупаемость при условии платного проезда оценивается в 5-15 лет.

Таким образом, строительство туннеля Алматы – Иссык-Куль является ключевым звеном Алматинско-Бишкекского экономического коридора. Опыт Сен-Готтардского туннеля доказывает, что современные технологии податливых стальных крепей и прецизионного мониторинга позволяют успешно вести строительство в сложнейших тектонических условиях. Применение численного моделирования в ANSYS подтверждает, что расчетная толщина железобетонной обделки в 1 метр в сочетании с демпфирующими слоями способна обеспечить сейсмостойкость сооружения. Реализация проекта не только сократит транспортные издержки, но и станет катализатором интеграционных процессов в Центральной Азии.

Литература:

1. Ташикеева, Г.К. О необходимости строительства горного туннеля Алматы — Иссык-Куль / Г.К. Ташикеева, Е.М. Бекмуратов, Г.М. Илипов. // Научный вестник. – 2024. – С. 1-4.
2. Исмаилов, В. Казахстан и Кыргызстан планируют сокращенный маршрут из Алматы на Иссык-Куль / В. Исмаилов. // The Times of Central Asia. – 2026. – 12 янв.
3. Кауфман, Л.Л. Зарубежный опыт строительства туннелей в сейсмических зонах / Л.Л. Кауфман. // Подземное строительство. – 2021.
4. Sika: Gotthard Base Tunnel success story
5. Gotthard Base Tunnel: Standard Support and Challenges / Amberg Technologies.
6. СН РК 5.01-02-2013. Основания зданий и сооружений. – Астана: КазНИИСА, 2013.

ӘОЖ 620.17

Нұран С.М., ХБК (ҚазБСҚА) ИТС (ВІМ)-23-1 тобы студенті
Сансызбаев К.К., т.ғ.к., ХБК (ҚазБСҚА) қауымдастырылған профессоры

ҚҰРЫЛЫМДАРДЫҢ ЭЛЕМЕНТТЕРІНДЕГІ КЕРНЕУ КОНЦЕНТРАЦИЯСЫ ЖӘНЕ ОНЫҢ БЕРІКТІККЕ ӘСЕРІ

Мақалада құрылымдардағы элементтеріндегі кернеу концентрациясы мен оның беріктікке әсері қарастырылған.

Түйін сөздер: кернеу концентрациясы, көлденең қима, беріктік.

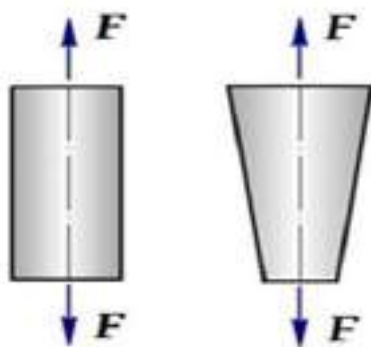
В статье рассматривается концентрация напряжений в элементах конструкций и ее влияние на прочность.

Ключевые слова: концентрация напряжений, поперечное сечение, прочность.

The article discusses the concentration of stresses in structural elements and its impact on strength.

Keywords: stress concentration, cross-section, and strength.

Теориялық және эксперименттік зерттеулер көрсеткендей, созылған немесе сығылған сырықтың (стерженьнің) қимасы бойынша кернеулердің біркелкі таралуы қима ауданы ұзындығы бойынша тұрақты болғанда немесе күрт секірістер мен ауысуларсыз біртіндеп (біркелкі) өзгерген жағдайларда ғана байқалады (1-сурет).

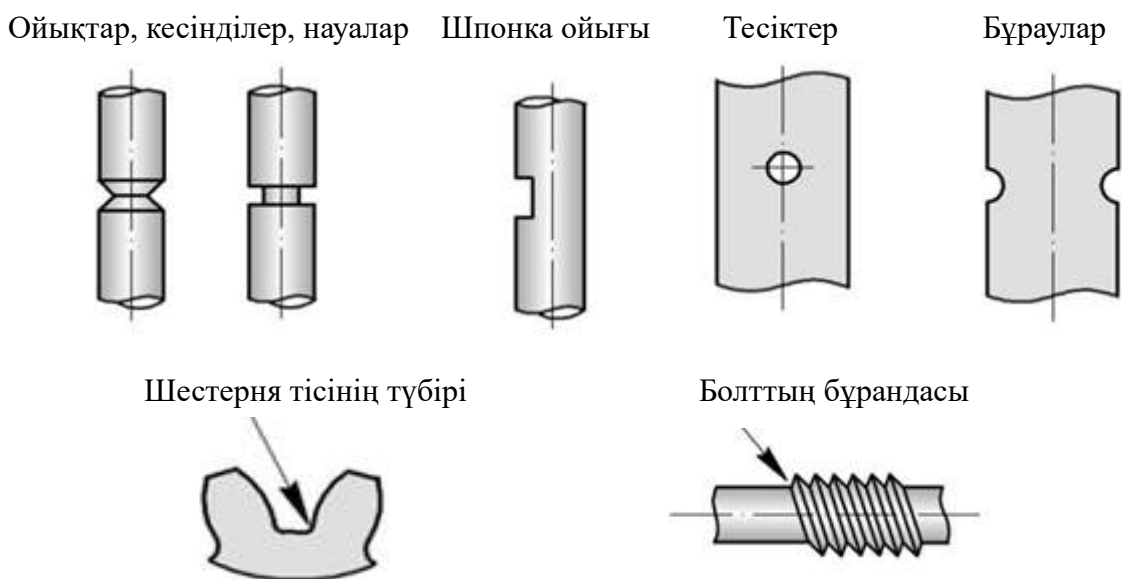


1-сурет– Сырықтағы (стерженьдегі) тұрақты және біркелкі өзгеретін қима.

Бұл жағдайда $\sigma = F/A$ формуласы тік кернеудің жеткілікті дәл және сенімді мәндерін береді, олар тәжірибелік жолмен расталады және де құрылым элементтерінің беріктігін тексеру төменгі көрсетілген шарт бойынша орындалуы мүмкін:

$$\sigma_{\max} = \frac{F}{A} \leq [\sigma]. \quad (1)$$

Алайда, конструкциялардың нақты элементтері, әдетте, мінсіз біркелкі бойлық пішіні болмайды және өздерінің функционалдық мақсатына сәйкес әртүрлі ойықтармен, кесінділермен, науалармен, тесіктермен, қабырғалармен, ойықтармен және т.б. жабдықталған, олар дененің контурын және қиманың пішінін күрт өзгертеді (2-сурет).



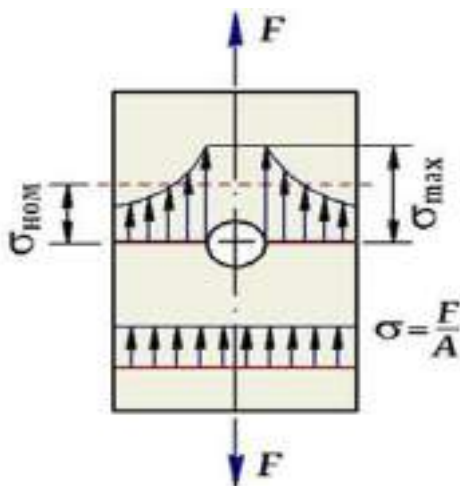
2-сурет– Кернеу концентраторы.

Осындай элементтерде кернеулер көлденең қимада біркелкі таралмаған және пішінді бұзу орындарында олар көлденең қиманың басқа нүктелеріне қарағанда айтарлықтай жоғары реттік мәнге ие болады.

Бөлшектің геометриялық пішінінің күрт өзгеретін жерлерінде кернеудің арту құбылысы кернеу концентрациясы деп аталады, ал концентрацияны тудыратын факторлар кернеу концентраторлары деп аталады.

Бұл кернеулер қиманың өте аз ауданында – кесіндінің, тесіктің және т.б. дәл шетінде шоғырланады және жергілікті сипатқа ие, сондықтан олар жергілікті кернеулер деп аталады, бірақ олар бөлшектің беріктігі үшін шешуші рөл атқаруы мүмкін. Бұл ретте, ауысулар неғұрлым күрт және кесінділер неғұрлым өткір болса, концентратор аймағындағы жергілікті максималды кернеулер соғұрлым жоғары болады.

3-суретте көрсетілгендей, тесігі бар созылатын жолақтағы кернеулердің таралуын қарастырайық және кернеу концентрациясы кезіндегі беріктік есептеулерінде қолданылатын кейбір ұғымдар мен шамаларды енгізейік.



3-сурет – Концентратор болмаған және болған кездегі кернеулердің өзгеруі.

Тік (номиналды) кернеу – бұл кернеу концентрациясының жоқтығы туралы болжам негізінде, бірақ әлсіреген қиманы ескере отырып есептелген кернеу:

$$\sigma_{\text{ном}} = \sigma_{\text{ср}} = \frac{F}{A_{\text{ослаб}}} \quad (1)$$

Кернеу концентрациясының коэффициенті – кернеу концентрациясының сандық сипаттамасы, ол концентратор аймағындағы максималды кернеулердің номиналды (қима бойынша орташа) кернеулерден қанша есе артық екенін көрсетеді:

$$\alpha_k = \frac{\sigma_{\text{max}}}{\sigma_{\text{ном}}} \quad (2)$$

Сонда (2)-формула бойынша концентратор аймағындағы максималды кернеулер келесідей анықталады:

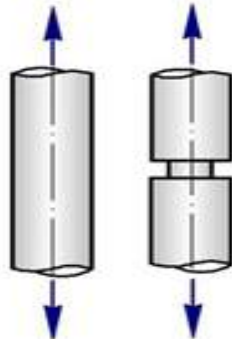
$$\sigma_{\text{max}} = \alpha_k \sigma_{\text{ном}} \quad (3)$$

Кернеу концентрациясының коэффициенттерін ажыратады:

- концентратордың өлшемі мен пішініне байланысты, серпімділік теориясы әдістерімен есептелетін. Оның әртүрлі шоғырландырушылардың түрлері мен өлшемдері үшін мәні анықтамалық әдебиеттерде берілген. Теориялық концентрациясы коэффициенті $k(t)$ 1-ден артық; $> \alpha$

- **нақты (тиімді) кернеу концентрациясының коэффициенті** $k(d)$, α концентратордың өлшемдері мен пішініне, сондай-ақ материалдың механикалық қасиеттеріне байланысты. Эксперименттік түрде келесідей анықталады: $k(d) = \sigma_B / \sigma_{B(k)}$, мұндағы σ_B және $\sigma_{B(k)}$ – сәйкесінше концентраторсыз және концентратор бар үлгінің беріктік шегі.

Концентрациясының нақты коэффициенті $1 \leq \alpha_{k(d)} < \alpha_{k(T)}$ (4-сурет).



4-сурет – Кернеу концентрациясының нақты коэффициентін эксперименттік анықтау.

Концентратор болған кездегі элементтердің беріктігі және есептеулерде кернеу концентрациясының белгілі бір коэффициентін қолдану материалдың қасиеттеріне байланысты.

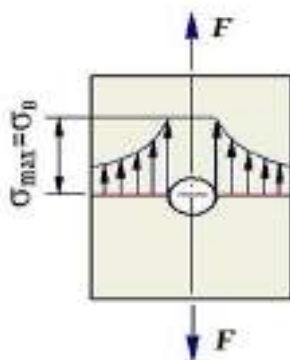
Пластикалық және морт материалдардың кернеу концентрациясының болуына қалай әрекет ететінін қарастырайық.

Морт (сынғыш) материалдар

Үлгіге жүктеме түсірілген кезде, көлденең қиманың барлық нүктелерінде кернеулер пайда болады, бірақ олардың ең жоғары мәні бастапқыда концентратордың маңайында байқалады. Жүктеме ұлғайған сайын кернеулер артады және дәл осы аймақта олар өздерінің шекті (қауіпті) мәніне ең тез жетеді.

Морт материалдар үшін қауіптілік σ_B беріктік шегі болып табылады, және кернеу концентрациясы (шоғырлануы) аймағында максималды мәнге жеткенде – $\sigma_{max} = \sigma_B$ (5-сурет), жарық пайда болып, үлгінің бұзылуы басталады. Сондықтан морт (сынғыш) материалдар үшін теориялық концентрация коэффициенті қабылданады және (1)-формуланы ескере отырып, беріктік шарты болып табылады:

$$\alpha_k = \alpha_{k(T)} \quad \sigma_{max} = \alpha_{k(T)} \sigma_{nom} \leq [\sigma]. \quad (4)$$



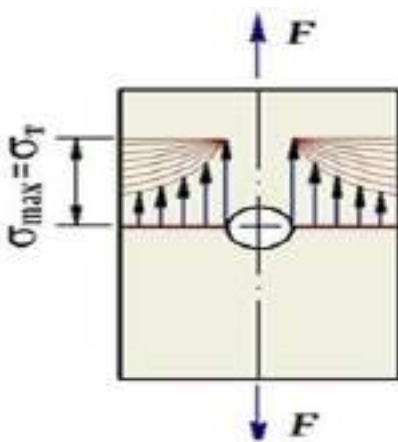
5-сурет – Морт (сынғыш) материалдар кернеу концентрациясы.

Морт (сынғыш) материалдар кернеу концентрациясына статикалық та, динамикалық та жүктеме кезінде өте сезімтал болады. Морт (сынғыш) материалдардан бөлшектерді жасау кезінде терең ойықтардан, кесінділерден және қималардың кенеттен өзгеруінен аулақ болу керек. Олар үшін материал бетін мұқият өңдеу қажет, себебі тіпті ұсақ тегістеу дөңгелегінің іздері де *кернеу концентраторлары* болып табылады.

Пластикалық материалдар

Үлгіге күш түсірілген кезде, көлденең қиманың барлық нүктелерінде кернеулер пайда болады, бірақ бастапқыда олардың ең үлкен мәні концентратордың маңайында болады. Күш артқан сайын кернеулер өседі, және ең жылдам осы аймақта олар өздерінің шекті (қауіпті) мәніне жетеді. *Пластикалық материалдар үшін қауіпті кернеу* – созылу шегі σ_T .

Концентратордың маңында кернеулер $\sigma_{\max} = \sigma_T$ мәніне жеткенде, мұндағы кернеулердің өсуі тоқтайды, ал қиманың қалған бөлігінде кернеулер өсе береді және концентратордың маңындағы пластикалық аймақ біртіндеп ұлғаяды (6-сурет).



6-сурет – Пластикалық материалдар кернеу концентрациясы.

Үлгінің беріктігі барлық нүктелерде кернеу σ_T мәніне жеткенде толығымен жоғалады.

Пластикалық материалдар кернеу концентрациясына аз сезімтал, себебі материалдың пластикалық қасиеті оларды қима бойынша тегістеуге ықпал етеді. Алайда, бұл тек статикалық жүктеме кезінде байқалады. Динамикалық жүктемелерде, деформациялар мен кернеулер уақыт бойынша жылдам өзгергенде, кернеулерді тегістеуге үлгермейді және кернеу концентрациясының зиянды әсері сақталады.

Пластикалық материалдар үшін $\alpha_{K(T)} \approx 1$, бөлшектері шарт бойынша тексерілуі мүмкін.

$$\sigma_{\max} = \alpha_{K(T)} \sigma_{\text{ном}} \approx \sigma_{\text{ном}} \leq [\sigma]. \quad (5)$$

Кернеулер концентрациясы элементтердің беріктігі үшін елеулі қауіп төндіреді. Конструкциялардың бұзылуын талдауы көрсеткендей, ақаулардың басым көпшілігі және морт сызаттардың пайда болуы кернеулер концентраторларының жанында туындайды. Бұл ретте концентраторлар тек функционалдық мақсатына қажетті элементтер ғана емес – тесіктер, ойықтар, ойықтар, гальтельдер және т.б., сонымен қатар беттің әртүрлі кедір-бұдырлары – сызаттар, сызаттар, белгілер, қабыршақтар, дененің ішіндегі материалдың локальді біртекті еместігі бар аймақтар, сондай-ақ кез келген қосылыстар – дәнекерленген, желімделген, болтты, тойтармалы және т.б. болуы мүмкін.

Кернеулер концентрациясының қауіптілігі статикалық та, динамикалық та жүктемелер кезінде орын алады, алайда соңғы жағдайда ол еселеп жоғары болады және әсіресе материалдың морттығына ықпал ететін төмен температура жағдайларында артады.

Әдебиеттер:

1. Беляев, Н.М. *Сопротивление материалов* / Н.М. Беляев. – М.: Наука, 2016. – 607с.
2. Арапов Б.Р., Сейтказенова К.К. *Материалдар кедергісі*. – Қарағанды: «Medet Group» ЖШС, 2020.

3.4 ГЕОТЕХНИКА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

UDC 624.1

Adilova T.D., Shorabek N.B., students of group RPZS-24-11, IEC (KazGASA)
Niyetbay S.E., PhD, Associate Professor, IEC (KazGASA)
Jumadilova S.Zh., PhD, Associate Professor, IEC (KazGASA)

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL STUDY OF SOIL CEMENT WITH JUSTSOLID® POLYMER ADDITIVE

This article examines the improvement of soil-cement materials used in complex engineering and geological conditions and the influence of polymer additives on their properties.

Keywords: soil-cement, polymer additives, JUSTSOLID®, strength, moisture content, soil stabilization.

Мақалада күрделі инженерлік-геологиялық жағдайларда қолданылатын топырақ-цемент материалдарының тиімділігін арттыру мәселелері және полимерлік қоспалардың олардың қасиеттеріне әсері қарастырылған.

Түйін сөздер: топырақ-цемент, полимерлік қоспалар, JUSTSOLID®, беріктік, ылғалдылық, топырақты тұрақтандыру.

В данной статье рассмотрены вопросы повышения эффективности грунтоцементных материалов при строительстве в сложных инженерно-геологических условиях, а также влияние полимерных добавок на их свойства.

Ключевые слова: грунтоцемент, полимерные добавки, JUSTSOLID®, прочность, влажность, стабилизация грунтов.

Introduction

Modern construction requires reliable foundations, especially under complex geological conditions. Weak and water-saturated soils, such as loams, are problematic due to low bearing capacity, high compressibility, and moisture sensitivity, which can lead to uneven settlements. To improve stability, soil–cement stabilization is widely used by mixing soil with a cement binder to increase strength, reduce deformability, and improve water resistance (Bualuang et al., 2024; Sadeghi et al., 2025; Yu et al., 2025). Modern approaches also focus on optimizing hardening and structural uniformity. Polymer modifiers are applied to enhance soil–cement properties by improving structure formation, reducing porosity, and controlling moisture (Liu et al., 2025; Utkarsh & Kumar Jain, 2025; Zinchenko et al., 2026). One effective solution is the environmentally friendly JUSTSOLID® polymer used in geotechnical construction (Diab et al., 2026).

The aim of this study is to evaluate the effect of the JUSTSOLID® polymer on the physical and mechanical properties of soil cement, particularly compressive strength and moisture content, and to determine its optimal dosage

Experimental study

Cubic samples (100×100×100 mm) were prepared using loam and cement in an 8:2 ratio, with polymer dosages of 30 ml and 60 ml. The preparation included thorough mixing, compaction, and curing under controlled conditions for 14 days. Testing showed that samples with 30 ml of polymer achieved the highest strength (about 21 kN or 1.846 MPa), indicating optimal interaction between components. Increasing the dosage to 60 ml reduced strength to 15-16 kN (1.337 MPa), likely due to excessive plasticity and structural imbalance. Moisture analysis revealed that polymer-modified samples had lower moisture content (6.816%) compared to unmodified soil cement (8.287%), confirming improved drying and structural stability (Thapa et al., 2025; Zhu et al., 2025).

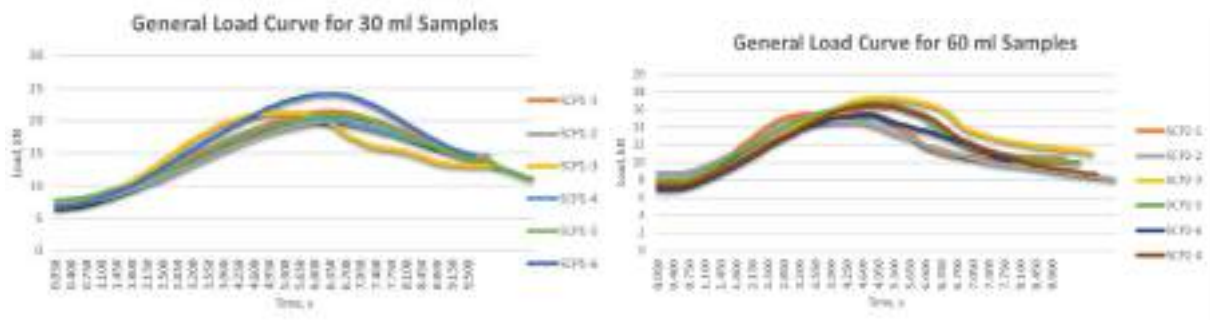


Figure 1 – Diagrams of load curves a) for 30ml of polymer b) for 60ml of polymer



Figure 2 – a) 1-sample after test b) 2-sample after test c) moisture results.

Name	Mass, g			Moisture content, %	
	Empty	Wet	Dry		
Soil-cement + Polymer					
Weighing bottle1	7,53	14,74	14,17	8,584	
Weighing bottle2	7,535	20,92	19,87	8,512	
Weighing bottle3	7,53	17,35	16,675	7,381	
Weighing bottle4	7,505	15,7	15,345	4,528	
Weighing bottle5	7,475	22,325	21,475	6,071	
Weighing bottle6	7,495	18,955	18,325	5,817	6,816
Soil-cement					
Weighing bottle7	7,465	16,815	16,265	6,250	
Weighing bottle8	7,425	15,215	14,425	11,286	
Weighing bottle9	7,645	17,105	16,5	6,832	
Weighing bottle10	7,49	17,07	16,295	8,802	
Weighing bottle11	7,49	17,365	16,73	6,872	
Weighing bottle12	7,575	17,235	16,325	10,400	8,407

Figure 3 – Moisture content.

Numerical study

Numerical analysis was performed using MIDAS GTS NX, a finite element–based geotechnical software, to simulate foundation behavior on weak soil with and without soil–cement stabilization using the JUSTSOLID® polymer. The results showed a reduction in settlement from 25.3 mm to 11.1 mm (44%), along with more uniform stress distribution in the improved soil. This confirms the effectiveness of MIDAS GTS NX in predicting foundation performance and the efficiency of polymer-modified soil–cement in enhancing stability (Anjaneyappa et al., 2026; Thapa et al., 2025).

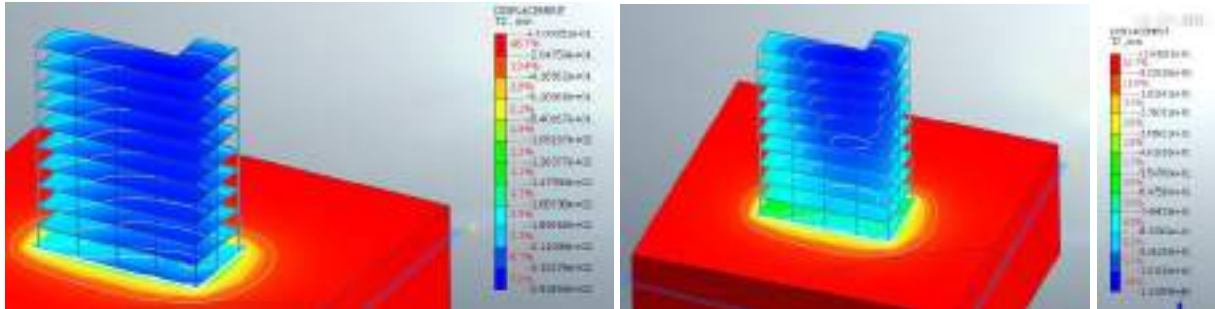


Figure 4 – Results of settlement a) without b) with soil cement.

Conclusion

Overall, the effect of the polymer is nonlinear and dosage-dependent. The optimal amount is 30 ml, providing the best balance between strength and technological properties. These results confirm the effectiveness of polymer additives in soil stabilization for construction in challenging conditions (Anjaneyappa et al., 2026; Liu et al., 2025; Zinchenko et al., 2026).

References:

1. Anjaneyappa, A. G., Srikanth, S., & Dey, S. (2026). Evaluation of mechanical properties and micro structural behavior of xanthan gum stabilized micaceous soils. *Progress in Engineering Science*, 3(1). <https://doi.org/10.1016/j.pes.2025.100198>
2. Bualuang, T., Jitsangiam, P., Nusit, K., Rattanasak, U., & Chindaprasirt, P. (2024). Enhancing lateritic soil for sustainable pavement subbase with polymer-modified cement: A comparative study of styrene butadiene rubber and styrene acrylic latex applications. *Case Studies in Construction Materials*, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03760>
3. Diab, A. S., Allam, A. A., Rudayni, H. A., Abdelfadil, K. M., Arman, H., Al Zoubi, W., & Abukhadra, M. R. (2026). Clay nanostructures in geotechnical engineering: A critical review of mechanisms, performance, and sustainable soil stabilization. *Materials Today Sustainability*, 33, 101284. <https://doi.org/10.1016/J.MTSUST.2025.101284>
4. Liu, M., Saberian, M., Li, J., Tajaddini, A., & Roychand, R. (2025). Improving expansive soil subgrade using sustainable green polymer-based admixture. *Case Studies in Construction Materials*, 23. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e05090>
5. Sadeghi, E., Nikudel, M. R., Ghasemi, S., & Bayat, N. (2025). Chemical and thermal stabilization of gypseous loess soils: Comparative study of natural environmental friendly materials (zeolite and gypsum) and cement. *Case Studies in Construction Materials*, 23, e04945. <https://doi.org/10.1016/J.CSCM.2025.E04945>
6. Thapa, I., Ghani, S., Kumar, N., Gupta, M., Saharan, S., Paramasivam, P., & Ayanie, A. G. (2025). Sustainable approach of strength measurement for soil's stabilized with geo-polymer with hybrid ensemble models. *Results in Engineering*, 27, 106133. <https://doi.org/10.1016/J.RINENG.2025.106133>
7. Utkarsh, & Kumar Jain, P. (2025). From pozzolans to polymers: Hybrid stabilization of expansive soils using fly ash, lime, and EPS beads. *Construction and Building Materials*, 493, 143279. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2025.143279>
8. Yu, Y., Wang, Z., Shen, L., Saeed, N., & Li, M. (2025). An innovative oxidation–coagulation–cementation strategy for effective and long-term peat soil stabilization. *Engineering Geology*, 358, 108404. <https://doi.org/10.1016/J.ENGGEOL.2025.108404>

Алпысбаев Т., Ада-22-3к тобы студ., М.Тынышбаев атындағы АЛТ Университет
Дюсенғалиева Т.М., қауымдастырылған профессор, М. Тынышбаев атындағы АЛТ Университет

ЖОЛ ҚҰРЫЛЫМДАРЫНЫҢ ЫЛҒАЛДАНУЫН БОЛДЫРМАУ ҮШІН ДРЕНАЖДЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІ ОРНАТУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ

Бұл мақалада жол құрылымдарының ылғалдануын болдырмау мақсатында дренаждық жүйелерді орнату технологиясы жан-жақты қарастырылады. Жол жабынына судың әсері, оның беріктігі мен ұзақ мерзімділігіне тигізетін кері ықпалы талданады. Сонымен қатар, жер үсті және жер асты дренаж жүйелерінің түрлері, олардың құрылымдық ерекшеліктері мен қолданылу салалары сипатталады. Дренаж жүйелерін жобалау және орнату кезеңдері, қолданылатын материалдар мен заманауи технологиялар туралы мәліметтер беріледі. Жол құрылысы саласында тиімді су бұру жүйелерін ұйымдастырудың маңыздылығы көрсетіледі.

Түйін сөздер: дренаж, жол құрылысы, ылғалдану, су бұру, геотекстиль, дренаж жүйесі, технология.

В данной статье подробно рассматривается технология устройства дренажных систем для предотвращения увлажнения дорожных конструкций. Анализируется влияние влаги на прочность и долговечность дорожного покрытия. Описаны виды поверхностных и подземных дренажных систем, их конструктивные особенности и области применения. Приведены этапы проектирования и монтажа дренажных систем, а также используемые материалы и современные технологии. Подчеркивается важность эффективной организации водоотвода в дорожном строительстве.

Ключевые слова: дренаж, дорожное строительство, увлажнение, водоотвод, геотекстиль, дренажная система, технология.

This article provides a comprehensive overview of drainage system installation technology aimed at preventing moisture accumulation in road structures. The impact of water on the strength and durability of road pavement is analyzed. The types of surface and subsurface drainage systems, their structural features, and application areas are described. The stages of design and installation, as well as the materials and modern technologies used in drainage systems, are discussed. The importance of efficient water drainage organization in road construction is emphasized.

Keywords: drainage, road construction, moisture, water removal, geotextile, drainage system, technology.

Кіріспе

Қазіргі таңда автомобиль жолдарының сапасы мен ұзақ мерзімділігі елдің экономикалық дамуы мен көлік инфрақұрылымының тиімді жұмыс істеуінде маңызды рөл атқарады. Жол құрылымдарының сенімділігіне әсер ететін негізгі факторлардың бірі – олардың ылғалдану деңгейі. Артық ылғал жол жабынының беріктігін төмендетіп, оның деформациялануына, жарықтардың пайда болуына және жалпы пайдалану мерзімінің қысқаруына әкеледі. Жол конструкцияларына судың енуі әртүрлі себептермен жүзеге асады. Оларға атмосфералық жауын-шашын, қардың еруі, жер асты суларының көтерілуі және жол жабынының ақаулары жатады. Осы факторлардың әсерінен жолдың негіз қабаттары әлсіреп, олардың көтергіш қабілеті төмендейді. Нәтижесінде жолда ойықтар, шұңқырлар және басқа да ақаулар пайда болады, бұл өз кезегінде көлік қозғалысының қауіпсіздігіне кері әсерін тигізеді. Осыған байланысты жол құрылымдарын ылғалданудан қорғау – жол құрылысы саласындағы маңызды міндеттердің бірі болып табылады. Бұл мәселені шешудің тиімді жолдарының бірі – дренаждық жүйелерді

дұрыс жобалау және орнату. Дренаж жүйелері артық суды уақытылы сыртқа шығарып, жол қабаттарының құрғақ күйде сақталуын қамтамасыз етеді. Заманауи жол құрылысында дренаждық жүйелердің әртүрлі түрлері қолданылады. Олар жер үсті және жер асты дренаждары болып бөлінеді және әрқайсысының өзіндік ерекшеліктері мен қолдану салалары бар. Сонымен қатар, жаңа материалдар мен технологияларды пайдалану дренаж жүйелерінің тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Осы мақалада жол құрылымдарының ылғалдануын болдырмау мақсатында дренаждық жүйелерді орнату технологиясының негізгі аспектілері қарастырылады. Атап айтқанда, дренаж жүйелерінің түрлері, оларды жобалау және орнату кезеңдері, сондай-ақ қолданылатын материалдар мен заманауи технологиялар талданады.

Материалдар мен әдістер

Зерттеу барысында жол құрылымдарының ылғалдану себептерін анықтау және оны болдырмау үшін қолданылатын дренаждық жүйелердің тиімділігін бағалау мақсатында кешенді талдау жүргізілді. Жұмыста теориялық және тәжірибелік зерттеу әдістері қолданылды. Теориялық бөлімде жол құрылысы саласындағы нормативтік құжаттар, ғылыми әдебиеттер мен заманауи зерттеулер қарастырылды. Атап айтқанда, дренаж жүйелерінің түрлері, олардың жұмыс істеу принциптері және қолдану ерекшеліктері талданды.

Тәжірибелік бөлімде дренаж жүйелерін орнату технологиясының негізгі кезеңдері зерттелді. Оларға:

- жер бедерін және гидрологиялық жағдайларды талдау;
- жобалау жұмыстарын жүргізу;
- траншеялар қазу және негіз дайындау;
- дренаждық құбырларды төсеу;
- сүзгіш материалдарды (күм, қиыршық тас, геотекстиль) қолдану;
- жүйенің жұмыс қабілеттілігін тексеру жатады.

Зерттеу барысында қолданылған негізгі материалдарға перфорацияланған пластикалық құбырлар, геотекстиль, күм және қиыршық тас жатады. Бұл материалдар суды тиімді өткізуге және топырақ бөлшектерінің жүйеге түсуін болдырмауға мүмкіндік береді.

Әдістемелік тұрғыдан дренаж жүйелерінің тиімділігі су өткізу қабілеті, ылғалды төмендету деңгейі және жол құрылымдарының беріктігіне әсері бойынша бағаланды.

Нәтижелер

Зерттеу нәтижелері дренаждық жүйелерді дұрыс жобалау және орнату жол құрылымдарының ылғалдануын айтарлықтай төмендететінін көрсетті. Артық судың уақытылы шығарылуы жол жабынының беріктігін сақтауға және оның қызмет ету мерзімін ұзартуға мүмкіндік береді. Жер үсті дренаж жүйелері жауын-шашын суларын тиімді түрде жинап, жолдан тыс аймақтарға бағыттайтыны анықталды. Ал жер асты дренаж жүйелері топырақ ішіндегі артық ылғалды азайтып, жолдың негіз қабаттарының тұрақтылығын қамтамасыз етеді. Геотекстиль мен сүзгіш материалдарды қолдану дренаж жүйесінің тиімділігін арттырып, оның бітеліп қалу қаупін төмендететіні байқалды. Сонымен қатар, пластикалық перфорацияланған құбырлар коррозияға төзімділігі мен ұзақ қызмет ету мерзімі арқылы тиімді шешім болып табылады.

Жалпы алғанда, жүргізілген зерттеу нәтижелері дренаж жүйелерін қолдану жол құрылымдарының сапасын жақсартатынын, жөндеу шығындарын азайтатынын және көлік қозғалысының қауіпсіздігін арттыратынын дәлелдейді.

Кесте 1 – Дренаж жүйелерінің тиімділік көрсеткіштері

№	Дренаж түрі	Артықшылықтары	Кемшіліктері	Қолдану саласы	Ылғалдылықты төмендету, % *	Жол қабатының қызмет ету мерзіміне әсері
1	Жер үсті дренажы (арықтар, су ағатын науалар)	Қарапайым, арзан, орнату оңай, күтім жасау жеңіл	Қатты жауын-шашынды тиімділігі төмен, көп орын алады	Жазық жерлер, аз ылғал түсетін аймақтар	30 – 40	Қызмет ету мерзімін 10 – 15 % ұзартады
2	Жер асты дренажы (перфорацияланған құбырлар)	Жоғары тиімді, ылғалды толық шығарады, жол құрылысына кедергі келтірмейді	Құны жоғары, құрылыс жұмыстары күрделі, күтім жасау қиын	Ылғалды аймақтар, жер асты сулары жоғары жерлер, жол негізі	60 – 80	Қызмет ету мерзімін 25 – 35 % ұзартады
3	Аралас жүйе (жер үсті + жер асты дренажы)	Ең тиімді, сенімді, ұзақ мерзімді нәтиже, әртүрлі жағдайға бейімделеді	Ең қымбат жүйе, жобалау мен орнату уақыты ұзақ	Күрделі гидрологиялық жағдайлар, магистраль жолдар, көпірлер	80 – 95	Қызмет ету мерзімін 35 – 50 % ұзартады

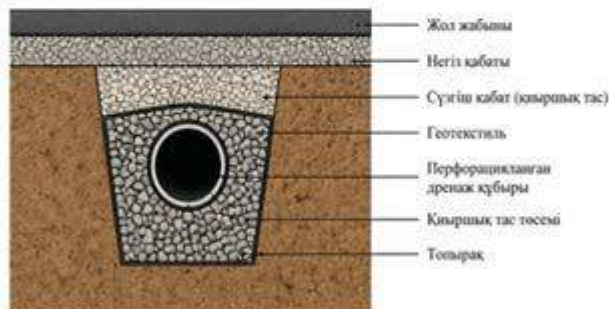
* Ылғалдылықты төмендету – жол негізіндегі артық ылғал мөлшерінің орташа пайыздық азаюы.

Кестеден көрініп тұрғандай, жер асты және аралас дренаж жүйелері жол құрылымдарының ылғалдануын тиімді түрде төмендетеді. Аралас жүйе ең жоғары нәтижеге қол жеткізеді.

Зерттеу барысында орнатылған дренаж жүйелерінің жұмысын бақылау үшін жол негізіндегі ылғалдылық деңгейі өлшенді. Өлшеу нәтижелері төмендегі суретте және диаграммада көрсетілген.



Сурет 1 – Жол бойындағы жер үсті дренаж жүйесі (арық)



Сурет 2 – Жер асты дренаж жүйесінің құрылымдық схемасы



Диаграммадан көрінгендей, аралас дренаж жүйесін орнатқаннан кейін жол негізіндегі ылғалдылық деңгейі 83 % дейін төмендеді, ал бұл жол қабатының беріктігін және оның қызмет ету мерзімін айтарлықтай арттыруға мүмкіндік береді.

Сонымен қатар, геотекстиль мен сүзгіш материалдарды қолдану дренаж жүйесінің бітеліп қалу ықтималдығын азайтып, оның ұзақ уақыт бойы тиімді жұмыс істеуін қамтамасыз етті.

Жалпы алғанда, алынған нәтижелер дренаж жүйелерін қолдану жол сапасын арттырып, жолдау шығындарын азайтатынын және жолдың пайдалану мерзімін ұзарта түсетінін дәлелдейді.

Қорытынды

Жол құрылымдарының ылғалдануы олардың беріктігі мен пайдалану мерзіміне тікелей әсер ететін негізгі факторлардың бірі болып табылады. Артық ылғал жол жабынының бұзылуына, негіз қабаттарының әлсіреуіне және көлік қозғалысының қауіпсіздігінің төмендеуіне әкеледі. Осыған байланысты жол құрылысы саласында тиімді дренаждық жүйелерді қолдану ерекше маңызға ие. Зерттеу нәтижесінде дренаждық жүйелердің жол құрылымдарын қорғаудағы рөлі жоғары екені анықталды. Жер үсті және жер асты дренаж жүйелері артық суды уақытылы шығарып, жол қабаттарының құрғақ күйде сақталуын қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, дренаж жүйелерін дұрыс

жобалау, сапалы материалдарды пайдалану және орнату технологиясын сақтау олардың тиімділігін арттырады. Қазіргі заманғы құрылыс материалдары мен технологиялары дренаж жүйелерінің ұзақ қызмет етуіне және сенімді жұмыс істеуіне мүмкіндік береді. Геотекстиль, перфорацияланған құбырлар және басқа да инновациялық шешімдер жүйенің сапасын айтарлықтай жақсартады. Қорытындылай келе, жол құрылымдарының ылғалдануын болдырмау үшін дренаждық жүйелерді тиімді ұйымдастыру – жолдардың сапасын арттырудың және олардың қызмет ету мерзімін ұзартудың негізгі шарттарының бірі болып табылады.

Әдебиеттер

1. ҚР ҚНЖЕ. Автомобиль жолдарын жобалау нормалары.
2. СНиП 2.05.02-85. Автомобильные дороги.
3. Иванов В.Н. Дорожное строительство. – М.: Транспорт, 2018.
4. Кравченко А.П. Инженерлік гидрология негіздері. – Алматы, 2017.
5. Жол құрылысы материалдары: оқу құралы. – Алматы, 2019.
6. Геотекстиль және оның жол құрылысындағы қолданылуы туралы ғылыми мақалалар жинағы.
7. Қазіргі заманғы дренаж жүйелері: технологиялар мен тәжірибе. – Нұр-Сұлтан, 2020.

УДК 624.042.7

Джамалиева А.Р., ст. гр. РПЗС-23-5 МОК (КазГАСА)

Асхатұлы М., м.т.н., тьютор МОК (КазГАСА)

БУДУЩЕЕ СЕЙСМОИЗОЛЯЦИЙ: СИНЕРГИЯ ВОЛНОВЫХ БАРЬЕРОВ И ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

В данной статье представлено теоретическое обоснование перехода от локальной сейсмоизоляции отдельных объектов к концепции территориального управления волновой энергией. На основе анализа мировых исследований (2023-2025гг.) в области сейсмических метаматериалов и интеллектуального мониторинга сформулирована стратегия сейсмозащиты нового поколения для городских кластеров.

Авторами показано, что внедрение физических метабарьеров в грунт требует качественной трансформации цифровых инструментов. Ключевым результатом работы является обоснование интеграции данных инженерной геологии и BIM-технологий через платформу «Цифровой город». Предложенный подход выступает не как законченное инженерное решение, а как прогностическая модель для оптимизации городской застройки. Исследование аргументирует необходимость перехода строительной отрасли Казахстана к интеллектуальному управлению сейсмическими рисками на уровне жилых микрорайонов.

Ключевые слова: сейсмические метаматериалы, цифровой двойник, BIM-технологии.

Бұл мақалада жеке нысандарды жергілікті сейсмикалық оқишаулаудан аумақтық толқын энергиясын басқару тұжырымдамасына көшудің теориялық негіздемесі ұсынылған. Сейсмикалық метаматериалдар мен интеллектуалды мониторинг саласындағы жаһандық зерттеулерді (2023-2025) талдау негізінде қалалық кластерлер үшін келесі буын сейсмикалық қорғаныс стратегиясы тұжырымдалған.

Авторлар жердегі физикалық метакедергілерді енгізу цифрлық құралдарды сапалы түрде өзгертуді қажет ететінін көрсетеді. Зерттеудің негізгі нәтижесі – «Цифрлық қала» платформасы арқылы инженерлік геология деректері мен BIM технологияларын біріктірудің негіздемесі. Ұсынылған тәсіл толық инженерлік шешім емес, керісінше қала құрылысын оңтайландырудың болжамды моделі болып табылады. Зерттеуде Қазақстанның құрылыс индустриясының тұрғын үй шағын ауданы деңгейінде интеллектуалды сейсмикалық тәуекелдерді басқаруға көшу қажеттілігі дәлелденген.

Түйін сөздер: сейсмикалық метаматериалдар, цифрлық егіз, BIM технологиялары.

This article presents a theoretical rationale for moving from localized seismic isolation of individual objects to a concept of territorial wave energy management. Based on an analysis of global research (2023-2025) in seismic metamaterials and intelligent monitoring, a next-generation seismic protection strategy for urban clusters is formulated.

The authors demonstrate that the implementation of physical metabarriers in the ground requires a qualitative transformation of digital tools. A key result of the study is the rationale for integrating engineering geology data and BIM technologies through the “Digital City” platform. The proposed approach is not a complete engineering solution, but rather a predictive model for optimizing urban development. The study argues for the need for Kazakhstan’s construction industry to transition to intelligent seismic risk management at the residential microdistrict level.

Keywords: seismic metamaterials, digital twin, BIM technologies.

Введение

В современной инженерной практике сейсмоизоляция фундаментов является общепризнанным стандартом. Однако при защите плотной городской застройки возникает проблема «инфраструктурной уязвимости»: даже если каркас отдельного здания остается неповрежденным, разрыв подземных коммуникаций из-за разности фаз колебаний грунта приводит к функциональному коллапсу микрорайона.

В данной статье рассматривается смена парадигмы: переход от укрепления единичных объектов к защите всей территории – жилого кластера. Актуальные исследования последних лет демонстрируют потенциал сейсмических метаматериалов, способных управлять волновой энергией в грунте. Однако реализация таких физических барьеров требует принципиально нового уровня данных. Настоящая работа представляет собой аналитический обзор и концептуальное проектирование системы сейсмозащиты нового поколения. Мы исследуем, как синергия волновых барьеров и цифровых двойников может сформировать устойчивую городскую среду, превращая сейсмостойкость из задачи укрепления бетона в стратегию интеллектуального управления рисками на основе интеграции BIM и инженерной геологии.

Литературный обзор

Традиционно основным стандартом безопасности считалась установка зданий на резинометаллические опоры. Однако, как показывает практика, эффективность данного подхода ограничена уровнем отдельного объекта. При проектировании жилых кварталов возникает критический «инфраструктурный разрыв»: в то время как здание на опорах сохраняет целостность, внешние инженерные коммуникации разрушаются из-за значительной разности смещений грунта и фундамента.

В качестве альтернативы выступает территориальный метод с использованием сейсмических метаматериалов. На основе принципов управления упругими волнами предлагается создание «сейсмических щитов» в грунте. Это позволяет защитить не только каркасы домов, но и все инженерные коммуникации внутри периметра застройки, что делает проект экономически более устойчивым в долгосрочной перспективе. С точки зрения физики, такие периодические структуры в почве формируют так называемые «запрещенные зоны», которые отражают или перенаправляют разрушительную энергию поверхностных волн в обход защищаемого кластера (рис. 1).

Однако создание физического барьера в грунте – это лишь одна сторона современной сейсмозащиты. Важным инструментом оценки сейсмических рисков считаются кривые уязвимости, описывающие связь между силой толчков и повреждениями зданий [3]. Однако, как отмечают исследователи, этот метод часто остается «микромасштабным»: он хорошо работает для анализа отдельных инженерных узлов, но его трудно применить для оценки ущерба в масштабах целого города. Попытки использо-

вать групповые методы оценки по принципу «снизу вверх» также выявили недостатки, так как они не учитывают многомасштабное воздействие землетрясения на среду в целом [4]. Именно здесь возникает необходимость внедрения цифровых двойников. В отличие от статичных кривых, цифровой двойник позволяет интегрировать данные датчиков и симуляции, превращая разрозненные данные о зданиях в единую динамическую модель управления рисками.

Рисунок 1 – Схема испытательного устройства для сейсмических метаматериалов.

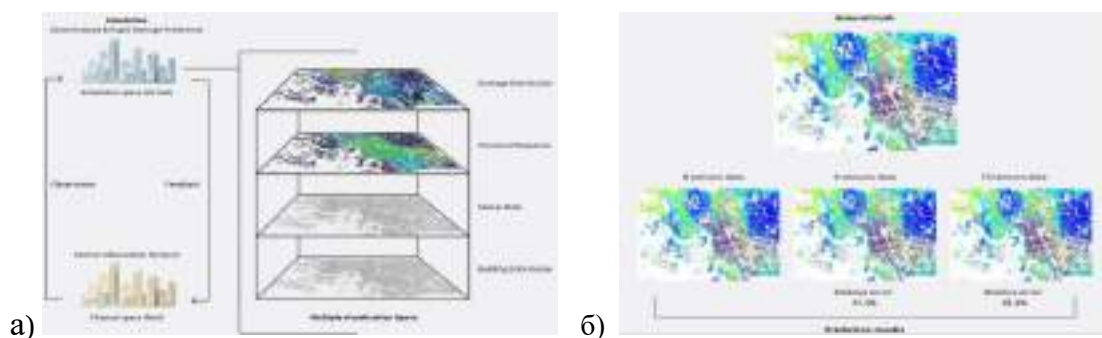


Рисунок 2 – а) Концептуальная схема системы цифровых двойников SAMRRaI;
б) Результаты верификации.

гичных контуров безопасности позволит Казахстану минимизировать затраты на восстановление и обеспечить долгосрочную устойчивость городской инфраструктуры к сейсмическим воздействиям мирового уровня.

Важно подчеркнуть, что описанные в работе технологии, такие как система мониторинга SAMARRAI и концепции волновых метабарьеров, на данный момент являются развивающимися мировыми трендами, требующими глубокой адаптации под сейсмогеологические условия Казахстана.

Авторы подчеркивают, что предлагаемый переход к территориальной защите – это не просто смена инженерного решения, а запрос на технологическую трансформацию отрасли.

Результаты и обсуждения

1. Анализ экспериментальных данных мировых исследований подтверждает эффективность перехода к территориальному управлению волновой энергией. В частности, результаты крупномасштабного испытания верифицировали работоспособность периодических структур в мягких грунтах.

При использовании регулярной сетки из трех рядов скважин с шагом 1,73 м была зафиксирована работа системы в брэгговском режиме рассеяния на частоте 50 Гц. Ключевым результатом стало снижение упругой энергии в 5 раз за пределами первого ряда барьера. Обнаруженное локальное увеличение плотности энергии у источника подтверждает возможность физического перенаправления сейсмического сигнала в обход защищаемого периметра (рис. 3).

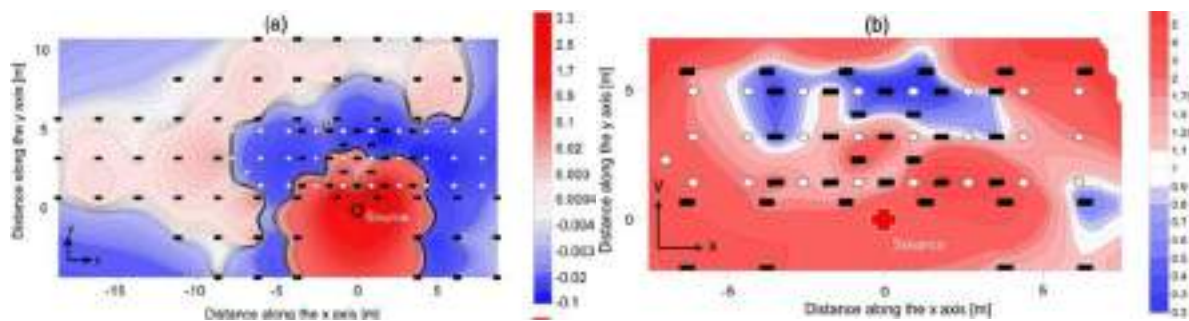


Рисунок 3 – Измерения для монохроматического источника.

2. Особое внимание в контексте практической реализации заслуживают данные полевых испытаний 2024–2025 гг., представленные в работе [2]. В данном исследовании верифицирована эффективность использования полупогруженных колонн из эластомеров для гашения сейсмических волн (рис. 4).

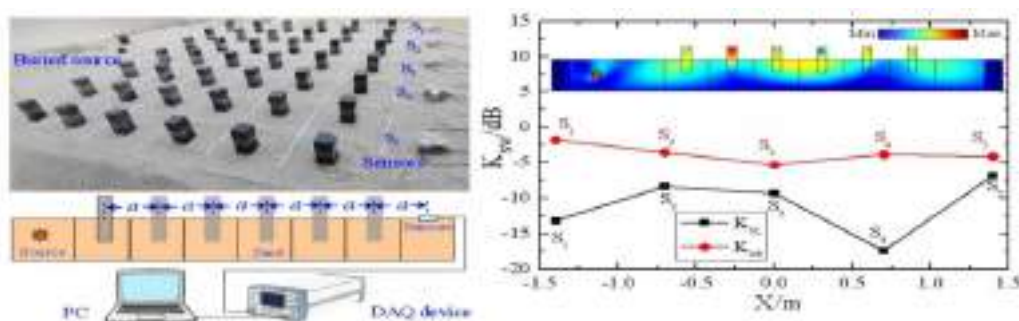


Рисунок 4 – Данные полевых испытаний 2024–2025 гг.

Полученные авторами результаты подтверждают переход технологии метаматериалов из области теоретического моделирования в стадию успешного внедрения в реальных грунтовых условиях. Экспериментально доказано, что барьеры на основе эластомеров способны эффективно рассеивать поверхностные волны Рэлея в широком диапазоне частот.

3. Цифровой двойник выступает связующим звеном, переводя пассивную защиту в режим активного управления. Внедрение алгоритмов типа SAMRRAi в единую платформу города позволяет синхронизировать параметры метабарьеров в грунте с эксплуатационными BIM-моделями зданий, а на основе технологии «разреженного зондирования» мгновенно визуализировать риски, строя карту повреждений всего кластера в режиме реального времени.

Синергия метабарьеров и цифровых двойников позволяет перейти от локальной защиты объектов к стратегии активного управления сейсмической безопасностью. Для Казахстана такая интеграция является вектором перехода к интеллектуальным сейсмостойким микрорайонам, способным сохранять функциональность при критических нагрузках.

Выводы

Представленная концепция выявляет острую потребность в интеграции данных инженерной геологии и BIM-технологий. Реализация такой защиты требует создания платформы «Цифровой город», которая станет средой для многомасштабного моделирования и оптимизации городского пространства. Таким образом, работа задает вектор для будущих исследований: развитие «эксплуатационного BIM» и цифрового картирования грунтов. Это позволит Казахстану перейти от пассивного укрепления фундаментов к активному интеллектуальному управлению сейсмическими рисками на уровне целых микрорайонов.

Литература:

1. *Design and Seismic Response Analysis for Multiple Buildings with Large Podium Using Inter-story Isolation Technology.* <https://www.bridgebearing.org/technology/inter-story-isolation.html>
2. *S. Brûlé, E. H. Javelaud, S. Enoch, and S. Guenneau. Experiments on Seismic Metamaterials: Molding Surface Waves. DOI: https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.112.133901*
3. *Silva, V.; Akkar, S.; Baker, J.; Bazzurro, P.; Castro, J.M.; Crowley, H.; Dolsek, M.; Galasso, C.; Lagomarsino, S.; Monteiro, R. Current challenges and future trends in analytical fragility and vulnerability modeling. Earthq. Spectra 2019, 35, 1927–1952. https://doi.org/10.1193/042418EQS101O*
4. *Fei, Z.; Guo, X.; Odongo, J.O.; Ma, D.; Ren, Y.; Wu, J.; Wang, W.; Zhu, J. A Seismic Fragility Assessment Method for Urban Function Spatial Units: A Case Study of Xuzhou City. Sustainability 2023, 15, 8022. https://doi.org/10.3390/su15108022*
5. *Kohiyama, M., et al. (2024). A digital twin system for urban-scale earthquake damage assessment integrating simulation and sensor network (SAMRRAI). Tohoku University & Nippon Koei. https://www.tokiomarinehd.com/en/news_insights/pdf/ni57.pdf?utm_source=slipcase&utm_medium=affiliate&utm_campaign=slipcase*

Джамалов Ж.Ж., ст. гр. ТПГС 24-6 МОК (КазГАСА)
Кенебаева А.К., ассоц. проф. МОК(КазГАСА)

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЙ И НАСЫПЕЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

В статье рассказывают о новых технологиях укрепления грунтов оснований и насыпей автомобильных дорог. Дают простые сведения о грунтах оснований и о насыпях. Описывают механические методы укрепления, описывают физические и механические методы стабилизации, а также описывают геосинтетические технологии. И да, авторы сравнивают методы укрепления, сравнивают их по эффективности, сравнивают их по экономичности и сравнивают их по области применения. По результатам авторы могут выбрать оптимальные технологии для разных типов грунтовых условий. По-моему, такой подход выглядит практичным.

Ключевые слова: *грунты оснований, насыпи автомобильных дорог, механическая стабилизация, физико-механические методы, геосинтетические материалы, укрепление грунтов, цементная стабилизация, георешетки.*

Мақалада автомобиль жолдарының негіздері мен үйінділерін нығайтудың жаңа технологиялары туралы айтылады. Олар негіздердің топырақтары мен үйінділер туралы қарапайым ақпарат береді. Олар нығайтудың механикалық әдістерін сипаттайды, тұрақтандырудың физикалық және механикалық әдістерін сипаттайды, сонымен қатар геосинтетикалық технологияларды сипаттайды. Иә, авторлар күшейту әдістерін салыстырады, оларды тиімділігімен салыстырады, үнемділігімен салыстырады және қолдану аясымен салыстырады. Нәтижелер бойынша авторлар әртүрлі топырақ жағдайлары үшін оңтайлы технологияларды таңдай алады. Менің ойымша, бұл тәсіл практикалық болып көрінеді.

Түйін сөздер: *негіз топырақтары, автомобиль жолдарының үйінділері, механикалық тұрақтандыру, физика-механикалық әдістер, геосинтетикалық материалдар, топырақты нығайту, цементті тұрақтандыру, георешеткелер.*

The article talks about new technologies for strengthening the soils of foundations and embankments of highways. They provide simple information about the soils of the foundations and embankments. Mechanical reinforcement methods are described, physical and mechanical stabilization methods are described, and geosynthetic technologies are described. And yes, the authors compare strengthening methods, compare them in effectiveness, compare them in cost-effectiveness, and compare them in scope. Based on the results, the authors can choose the optimal technologies for different types of soil conditions. In my opinion, this approach looks practical.

Keywords: *foundation soils, embankments of highways, mechanical stabilization, physico-mechanical methods, geosynthetic materials, soil reinforcement, cement stabilization, geogrids.*

Грунты оснований, которые лежат под дорогами и в их насыпях, образуют сложные инженерные и геологические системы. От их свойств прямо зависят срок службы и надёжность дорожных конструкций [1]. Грунтовое основание – это естественный грунт или грунт, который специально подготовили. На это основание падают нагрузки от дорожного покрытия и от машин, которые едут по дороге [2]. Насыпи под дорогами строят, когда плановая высота полотна выше уровня естественного рельефа местности [3]. Для насыпей берут простые материалы: песок, супесок, суглинок, щебень и гравий [4]. По моему опыту, если грунт выбран правильно, дорога служит гораздо дольше.

Таблица 1 – Классификация грунтов по механическому составу

Тип грунта	Содержание частиц, %	Основные свойства
Песок	>50 частиц 0,1-2 мм	Низкая сжимаемость, высокая проницаемость
Супесь	30-50 частиц 0,05-0,1 мм	Умеренная сжимаемость, подверженность пучению
Суглинок	30-50 частиц <0,005 мм	Повышенная сжимаемость, пластичность
Глина	>50 частиц <0,005 мм	Высокая сжимаемость, набухание, пучение

Мне кажется, что эксплуатация грунтов и насыпей часто приводит к проблемам. Грунт может менять форму, быть сильно мокрым, подниматься от мороза и не выдерживать большую нагрузку [5]. Особенно тяжело строить на слабом грунте, на карстовых породах или в зоне, где вечная мерзлота уже деградирует [6].

Механическая стабилизация грунтов заключается в уплотнении грунта после предварительной подготовки соответствующего состава грунтовой смеси [1]. Этот процесс увеличивает прочностные характеристики путем оптимизации гранулометрического состава и последующего уплотнения при оптимальной влажности [2].



Рисунок 1 – Дорожный каток для уплотнения грунта.

Суть метода оптимального зернения заключается в том, чтобы зёрна гравия и песка разного диаметра максимально уменьшали количество пор – свободного пространства между зёрнами [3]. Наполнителем выступает пылевая фракция, а связующим – иловая фракция [4].

Таблица 2 – Параметры уплотнения грунтов различного состава.

Тип грунта	Оптимальная влажность, %	Максимальная сухая плотность, г/см ³	Метод уплотнения
Песок	08.дек	1,6-1,8	Виброуплотнение
Супесь	дек.15	1,7-1,9	Укатывание
Суглинок	14-18	1,6-1,8	Трамбование
Глина	16-22	1,5-1,7	Тяжелое трамбование

Физико-механические методы предполагают изменение свойств грунта путём введения вяжущих материалов и химических добавок [7]. Эта технология применяется в строительстве уже более шестидесяти лет и позволяет существенно повысить физико-механические характеристики грунтов.



Рисунок 2 – Технология цементной стабилизации грунта.

Стабилизация грунта цементом – один из самых востребованных методов: он прост в исполнении, обеспечивает высокую скорость работ и требует лишь умеренных затрат [8]. Технология включает несколько этапов. На этапе подготовки определяют тип грунта, подбирают состав смеси в лаборатории и снимают плодородный слой. Затем следует распределение компонентов – вносят цемент и специальные добавки. Далее грунт смешивают с компонентами, одновременно добавляя воду, после чего дорожное основание уплотняют тяжёлым виброкатком. Завершают процесс профилированием и укладкой поверхностного слоя.

Таблица 3 – Характеристики грунтов после стабилизации цементом.

Показатель	Исходный грунт	Стабилизированный грунт	Изменение
Предел прочности при сжатии, МПа	0,5-1,5	3,0-4,3	197,2
Предел прочности при изгибе, МПа	0,1-0,3	1,0-1,4	296,5
Модуль упругости, МПа	50-100	300-450	296
Коэффициент пучения	0,04-0,08	0,01-0,02	-75%
Коэффициент набухания	0,03-0,06	0,01-0,015	-70%

Цементная стабилизация даёт впечатляющие результаты: предел прочности при сжатии вырастает до 4,3 МПа, при изгибе – до 1,4 МПа [8]. Сопротивление сдвигу увеличивается на пятьдесят процентов, модуль упругости достигает 450 МПа [10]. Пучинистость и набухаемость падают в 3–6 раз, модуль деформации – в 3–5 раз, а на слабых грунтах последний показатель улучшается более чем в десять раз [7].

Известь берёт на себя другую задачу: она снижает пластичность и водочувствительность связных грунтов – суглинков и глин [1]. При этом известь, казалось бы, действует парадоксально: повышает пластичность грунта, но именно это позволяет снизить его чувствительность к воде.

Комплексные минеральные вяжущие выстраивают целую экосистему преимуществ. Они работают по принципам экономики замкнутого цикла: в дело идут местные материалы и вторичные ресурсы техногенного происхождения. В регионах, где инертные материалы – дефицит, такой подход обеспечивает сырьевую безопасность проектов. При этом растут прочность и несущая способность дорожных конструкций, а строительство ускоряется и дешевеет [8].

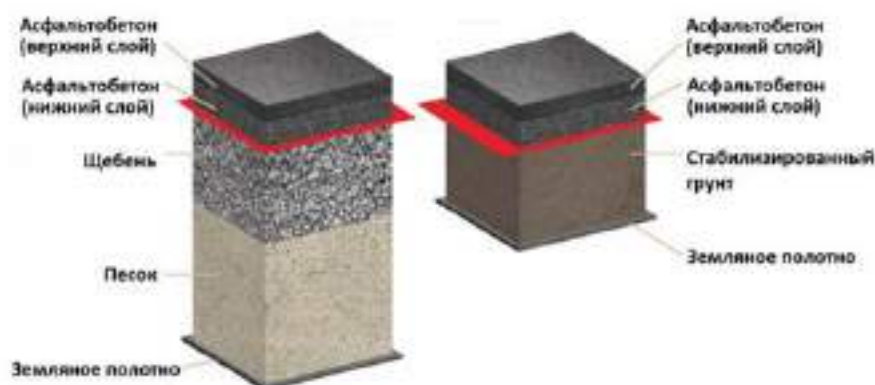


Рисунок 3 – Сравнение дорожной конструкции: традиционная и со стабилизированным грунтом.

Геосинтетические материалы – это инженерный ответ на древнюю проблему: как удержать грунт, не позволить ему размыться или просесть [2]. Каждый материал решает свою задачу. Геотекстиль работает как фильтр и барьер одновременно: пропускает воду, но не даёт слоям смешиваться, и при этом отводит лишнюю влагу. Георешётки берут на себя армирование – они связывают грунт в единое полотно и не дают ему сдвигаться. Геосетки усиливают не только грунты, но и асфальтобетон, препятствуя образованию трещин. Геомембраны создают надёжную гидроизоляцию – непроницаемый щит от воды. Геокомпозиты объединяют несколько функций в одном материале, экономя время и пространство на стройке [3].



Рисунок 4 – Георешетка для укрепления грунта и откосов.

Применение геотекстиля при строительстве дорог

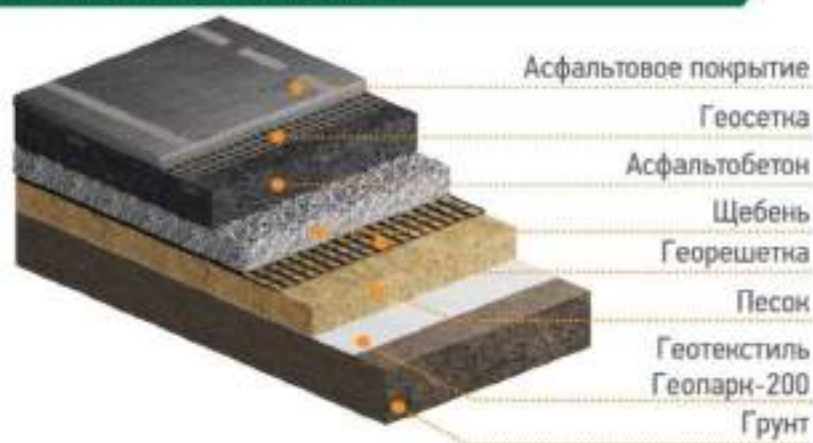


Рисунок 5 – Применение геосинтетических материалов в дорожной конструкции.

Объёмная георешётка – это не просто сетка, а трёхмерная ячеистая структура, которая вплетается в грунт и превращает его в единый композит [4]. Она работает сразу в нескольких направлениях: укрепляет слабые грунты и повышает их несущую способность, защищает откосы насыпей от вымывания водой и ветром, армирует слабые основания под насыпями, а ещё позволяет создавать механически стабилизированный слой из щебня – там, где без неё камни просто разъехались бы [5].

Таблица 4 – Сравнительная характеристика геосинтетических материалов.

Материал	Основное назначение	Прочность на разрыв, кН/м	Долговечность, лет
Геотекстиль нетканый	Фильтрация, дренаж	май.25	25-50
Геотекстиль тканый	Разделение слоев, армирование	20-80	30-50
Георешетка	Укрепление грунтов, откосов	окт.45	50-100
Геосетка	Армирование асфальта	30-100	25-40
Геомембрана	Гидроизоляция	15-40	30-50

Таблица 5 – Сравнительный анализ методов укрепления грунтов.

Метод	Типы грунтов	Стоимость	Срок службы	Экологичность
Механическая стабилизация	Несвязные, слабосвязные	Низкая	10-15 лет	Высокая
Цементная стабилизация	Пески, суглинки	Средняя	20-30 лет	Средняя
Известкование	Связные грунты	Низкая	15-20 лет	Высокая
Геосинтетические материалы	Все типы	Средняя-высокая	25-50 лет	Высокая
Комплексные вяжущие	Все типы	Средняя	20-25 лет	Высокая

Геосинтетические материалы меняют саму логику строительства. Они сокращают время работ и количество рейсов грузовиков – меньше техники на площадке, меньше пробок вокруг объекта. Конструкция становится легче: требуется меньше материала, а дорога при этом служит дольше. Экологическая выгода двойная: уменьшается толщина слоёв, сокращается добыча и перевозка щебня, а местные материалы – иногда даже вторичные – получают вторую жизнь. Главное: геосинтетики сохраняют свои свойства на весь срок службы, не разрушаясь и не теряя эффективности [6].

Таблица 6 – Экономическая эффективность применения инновационных технологий.

Показатель	Традиционные методы	Инновационные технологии	Экономия
Толщина конструкции, см	80-100	50-70	30-40%
Срок строительства, дни	60-90	30-45	40-50%
Расход щебня, м³/км	2500-3000	1500-2000	35-40%
Транспортные расходы	Базовый	Снижены на 25-30%	25-30%
Срок службы дороги, лет	окт. 15	20-30	49

Местные материалы и вторичные ресурсы – вот что меняет экономику стройки. Технологии укрепления грунтов позволяют брать то, что есть под ногами, и превращать это в надёжное основание. Это не просто снижает транспортные затраты – оно освобождает проект от зависимости от поставок щебня из других регионов, обеспечивая настоящую сырьевую безопасность [7].

Геосинтетики усиливают этот эффект: они позволяют обойтись на 20-30% меньше инертных материалов [8]. А укреплённый грунт отвечает совсем иначе – модуль деформации растёт в 3-5 раз, а на особо слабых грунтах этот прирост превышает десятикратный [8].

Три подхода – три характера:

Механические методы – самый бюджетный вариант, но со строгими рамками: они уверенно работают на песках и сыпучих грунтах, но на связных глинах и суглинках быстро сдают позиции [1].

Физико-механическая стабилизация подходит глубже. Цемент, известь или комплексные вяжущие перепрограммируют саму структуру грунта, многократно повышая его прочность. Плюс – в дело идут вторичные материалы, которые иначе лежали бы в отвалах [2].

Геосинтетические технологии – универсальный игрок. Одна и та же технология может армировать насыпь, разделить слои, отвести воду и удерживать откос от размыва. Это решение без жёсткой привязки к типу грунта [3].

Выбор между ними – не вопрос моды, а расчёт. Нужно взвесить: какой грунт на площадке, какие нагрузки предвидятся, что делает климат, и на сколько лет проектируется конструкция. Только такое технико-экономическое обоснование даст оптимальное решение [4].

Литература:

1. *Исаханов Е.А., Мусаев Т.С. *Механика грунтов: Учебное пособие.* – Алматы: Ана тілі, 1996. – 168с.
2. *Ухов С.Б., Семенов В.В., Знаменский В.В. и др. *Механика грунтов, основания и фундаменты: Учебник для вузов.* – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2002. – 566 с.

3. *СП 2.05.02-85*. Автомобильные дороги. – М.: ЦИП Госстроя СССР, 1986. – 48 с.
4. *Цытович Н.А. Механика грунтов: Учебник. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1979. – 288 с.
5. *Бектуров Е.А., Исаханов Е.А. Основания и фундаменты на просадочных грунтах Казахстана. – Алматы: Ғылым, 1998. – 224 с.
6. Кятов Н.Х., Кятов Р.Н. Механика грунтов: Учебник. – Алматы: Қазақ университеті, 2025. – 312с.
7. *СТ РК 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. – Астана: ҚазСтандарт, 2010. – 42 с.
8. ГОСТ 12248-2020. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. – М.: Стандартиформ, 2020. – 54 с.

ӘОЖ 656.13

Жолдигулов Ж.Ж., Ада-22-3к тобы студенті, М. Тынышпаев атындағы АЛТ университеті

Дюсенғалиева Т.М., т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, М. Тынышпаев атындағы АЛТ университеті

ЖЕРТӨСЕМЕСІНІҢ БЕТКЕЙЛЕРІН НЫҒАЙТУ КЕЗІНДЕ ГЕОСЕНТЕТИКАЛЫҚ ҚОЛДАНУ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ

Топырақтың шөгуді оның сыртқы жүктемелердің әсерінен көлемі мен пішінін өзгерту қасиетімен анықталады. Мұндай өзгерістер топырақ бетінде орналасқан құрылымдардың деформациялануына себеп болуы мүмкін. Бұл құбылыс әсіресе ылғалдылық деңгейі өзгергенде немесе жүктеме түскеннен кейін айқын байқалатын, сазды және лайлы әлсіз топырақтарға тән. Осындай тұрақсыз топырақтарда автомобиль жолдары мен басқа инфрақұрылым нысандарын тұрғызу кезінде жағымсыз әсерлердің алдын алу үшін нығайту және тұрақтандыру шараларын қолдану қажет. Соның ішінде геосинтетикалық материалдарды пайдалану кеңінен қолданылады, өйткені олар негіздің беріктігін арттырып, деформация ықтималдығын төмендетеді. Жол жағалауы – көлік құралдарынан түсетін жүктемелерді жол негізіне біркелкі жеткізуді қамтамасыз ететін инженерлік құрылым. Ол бірнеше қабаттан тұрады және әр қабат жолдың беріктігі мен тұрақтылығын қамтамасыз етуде өз қызметін атқарады. Үйінді жобалау кезінде жүктемені топырақтың терең орналасқан, тығыздалған және берік қабаттарына тиімді беру маңызды болып табылады. Мақалада шөгінді топырақтарға жүргізілген далалық сынақтардың нәтижелері, сондай-ақ соңғы элементтер әдісі арқылы алынған есептеулер ұсынылған. Сонымен бірге сынақ жүргізу әдістемесі мен шарттары және жол құрылымының технологиялық шешімдері сипатталған. Ұсынылған тәсілдің тиімділігі оның әртүрлі инженерлік-геологиялық жағдайларда қолдануға жарамдылығымен түсіндіріледі. Зерттеу нәтижелері топырақ шөгудің жүктеме шамасына тәуелділігін көрсететін графиктер түрінде берілген.

Түйін сөздер: геосинтетикалық тор, тығыздалу, статикалық жүктеме, топырақтың шөгуді.

Осадка грунта определяется его способностью изменять объем и форму под воздействием внешних нагрузок. Такие изменения могут вызывать деформации конструкций, расположенных на поверхности грунта. Данное явление особенно характерно для слабых глинистых и илистых грунтов, где оно наиболее выражено при изменении уровня влажности или после приложения нагрузки. При возведении автомобильных дорог и других объектов инфраструктуры на таких неустойчивых грунтах необходимо применять меры по их укреплению и стабилизации для предотвращения негативных последствий. Одним из наиболее распространенных решений является использование геосинтетических материалов, повышающих прочность основания и снижающих вероятность деформаций. Дорожная насыпь представляет собой инженерное сооружение, обеспечивающее равномерную передачу нагрузок от транспортных средств на основание дороги. Она состоит из нескольких слоев, каждый из

которых выполняет свою функцию в обеспечении прочности и устойчивости конструкции. При проектировании насыпи важно обеспечить эффективную передачу нагрузок на глубоко расположенные плотные и прочные слои грунта. В статье представлены результаты полевых испытаний на просадочных грунтах, а также расчёты, выполненные методом конечных элементов. Также описаны методика и условия проведения испытаний, и технологические решения дорожной конструкции. Эффективность предложенного подхода объясняется его применимостью в различных инженерно-геологических условиях. Результаты исследования представлены в виде графиков, отражающих зависимость осадки грунта от величины нагрузки.

Ключевые слова: геосинтетическая сетка (георешетка), уплотнение, статическая нагрузка, осадка грунта.

Soil settlement is defined by its ability to change volume and shape under the influence of external loads. Such changes may cause deformation of structures located on the ground surface. This phenomenon is especially typical for weak clay and silty soils, where it becomes more pronounced with changes in moisture content or after loading. When constructing highways and other infrastructure facilities on such unstable soils, reinforcement and stabilization measures are required to prevent adverse effects. One of the widely used solutions is the application of geosynthetic materials, which increase the strength of the foundation and reduce the likelihood of deformation. A road embankment is an engineering structure that ensures the uniform distribution of vehicle loads to the road foundation. It consists of several layers, each of which plays a role in ensuring the strength and stability of the structure. During embankment design, it is important to effectively transfer loads to deeper, dense, and strong soil layers. The article presents the results of field tests conducted on compressible soils, as well as numerical calculations performed using the finite element method. The testing methodology, conditions, and technological solutions of the road structure are also described. The effectiveness of the proposed approach is explained by its applicability under various engineering-geological conditions. The research results are presented in the form of graphs showing the relationship between soil settlement and load magnitude.

Keywords: geosynthetic grid (geogrid), compaction, static load, soil settlement.

Кіріспе

Автомобиль жолдары инфрақұрылымы басқа да инфрақұрылым салаларымен қатар экономикалық, сыртқы саяси және әлеуметтік мақсаттарды жүзеге асыруда, сондай-ақ халықтың өмір сүру деңгейін арттыруда маңызды рөл атқарады. Қазіргі уақытта Қазақстан Республикасындағы жалпы пайдаланымдағы автомобиль жолдарының жалпы ұзындығы шамамен 96 мың шақырымды құрайды. Осыған байланысты жобалау кезеңінде топырақтың шөгу деформацияларының пайда болу ықтималдығын міндетті түрде ескеру қажет, өйткені бұл қосымша инженерлік шаралар кешенін қарастыруды талап етеді.

Зерттеулер көрсеткендей, негіздің жеткілікті деңгейде тығыздалмауы су өткізу құрылыстарының бастары мен тіректерінің, сондай-ақ топырақ үйінділерінің елеулі деформацияларына алып келеді. Соның нәтижесінде беткейлердің бұзылуы, жол жамылғысында шұңқырлардың пайда болуы байқалады.

Жыл сайын шөгінді топырақтарда көптеген инженерлік нысандар салынуда, алайда мұндай жағдайларда олардың пайдалану мерзімі айтарлықтай қысқарып, жөндеу және қалпына келтіру шығындары кейде бастапқы құрылыс құнымен теңеседі.

Қазіргі таңда шөгінді топырақтарды нығайту және олардың кейінгі шөгуін болдырмау үшін бірқатар тиімді әдістер қолданылады:

- құрылыс басталғанға дейін топырақ негізін тығыздау (төсеу, дірілдету, таптау әдістері арқылы);
- әлсіз топырақты тығыздығы жоғары материалдармен (күм, қиыршық тас және т.б.) толық немесе ішінара алмастыру;
- жүктемені терең қабаттарға жеткізетін топырақ қадаларын орнату;

- құмды және қиыршықтасты жастықтар жасау, дренаж жүйелерін және су өткізбейтін экрандарды қолдану;
- топырақты цементтеу, силикаттау, шайырлау немесе саздау;
- электр энергиясы немесе жылу әсері арқылы термиялық бекіту әдістерін пайдалану;
- натрий карбоксиметилцеллюлозасын қолдану арқылы топырақтың тұрақтылығын арттыру және шөгуін азайту;
- дәстүрлі емес тұрақтандырғыштарды, соның ішінде наноматериалдарды, қызыл балшықты, НЕС, гидрофобты қоспаларды, EN-1 және SH сияқты материалдарды енгізу арқылы топырақтың физикалық-механикалық қасиеттерін жақсарту.

Аталған технологияларды пайдалану топырақтың сығылғыштығын төмендетіп, шөгу процесін едәуір азайтуға мүмкіндік береді. Ең тиімді әдіс топырақтың түріне, оның орналасу тереңдігіне және құрылыс алаңының инженерлік-геологиялық ерекшеліктеріне қарай таңдалады.

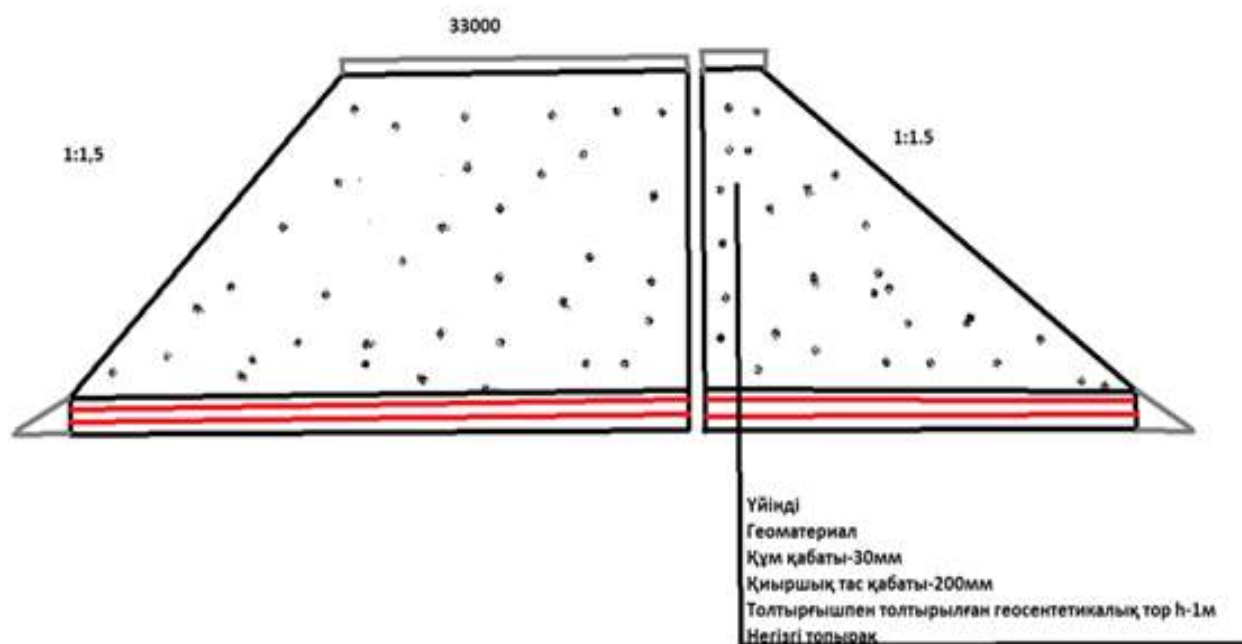
Материалдар мен әдістер

Зерттеу нысаны Іле Алатауының тау етегінен солтүстік бағытта созылған еңіс жазық аумақта, Алматы облысы шегінде орналасқан [1]. Геологиялық-литологиялық қиманы нақтылау мақсатында трасса бойымен тереңдігі 6,0 м-ге дейін жететін 51 барлау ұңғымасы бұрғыланып, жалпы өтім 199,0 м құрады. Ұңғымалардың абсолюттік белгілері 631,59–680,70 м аралығында өзгеріп отырады. Зерттелген учаскеде жер беті қалыңдығы шамамен 0,2 м болатын топырақ-өсімдік қабатымен жабылған. Оның астында қуаты 6,0 м-ге дейін жететін қаттыдан сұйыққа дейінгі консистенциялы саздақтар орналасқан, сондай-ақ қалыңдығы 1,5 м-ге дейінгі тығыз құмды саздақ қабаттары кездеседі. Бұлардан төменірек қуаты 0,6 м-ден басталатын орташа ірі және ірі түйірлі құм қабаттары анықталған. Қолданыстағы автомобиль жолдары қиылысатын жерлерде үйінді топырақтар байқалады. Олар құрамында қиыршық тас араласқан жартылай қатты саздақ түрінде кездеседі, максималды қалыңдығы 3,2 м-ге дейін жетеді. Зерттеу барысында жер асты суларының деңгейі 1,0–7,8 м тереңдік аралығында тіркелді.

1-кесте – Топырақтың физика-механика қасиеттері

Параметр атауы	№						
	ИГЭ – 2а	ИГЭ – 2б	ИГЭ – 2в	ИГЭ – 2д	ИГЭ – 3а	ИГЭ – 4в	ИГЭ – 4г
1	2	3	4	5	6	7	8
Аққыштық шегі, %	26,9	26,3	27,1	27,3	20,7	-	-
Икемділік шегі, %	18,8	18,7	18,9	19,0	16,9	-	-
Икемділік индексі, %	8,1	7,6	8,2	8,3	3,8	-	-
Өтімділік индексі, %	<0	0,38	0,62	0,94	<0	-	-
Табиғи ылғалдылық, %	12,2	21,6	24,0	26,7	4,6	-	-
Топырақ бөлшектерінің тығыздығы, г/см ³	2,71	2,70	2,71	2,71	2,69	-	-

Құрылымдық-технологиялық шешім ретінде GeoSM компаниясының «Геофлакс» геосинтетикалық торын қолдану қарастырылды (2-сурет). Бұл шешім топырақтың шөгу мүмкіндігін ескере отырып қабылданды, себебі EGE-2 типті топырақтар шөгу қасиетіне ие. Геотехникалық жағдайлар құлау тұрғысынан I және II типке жатады. Жобаланған жол учаскелерінде қиыршық тас негізіндегі асфальтбетон жабыны қарастырылған [2]. Асфальтбетон қабатының қалыңдығы 0,11 м-ден 0,38 м-ге дейін өзгереді. Жол төсемін жобалау өзара байланысты екі негізгі кезеңнен тұрады: есептеу және жобалау. Бұл процесс жергілікті ресурстарды ескере отырып материалдарды дұрыс таңдау, құрылым қабаттарының қалыңдығын анықтау және оларды негізге орналастыруды қамтиды. Үйінді конструкциялық шешімдері 2-суретте көрсетілген.



2-сурет – Жалпы конструктивті шешім.

Қорытынды

Шөгінді топырақты нығайтудың тиімді әдістерінің бірі – геосинтетикалық материалдарды қолдану. Бұл материалдар жоғары беріктікке және геотехникалық тұрақтылыққа ие, бұл топырақ негізіндегі шөгу мен деформация ықтималдығын азайтады. Осыған байланысты зерттеуде ең жоғары сенімділікпен күрделі топырақ жағдайында автомобиль жолын салуды қамтамасыз етуге бағытталған бірқатар іс шаралар жүргізілді. Зерттеу барысында конструктивті-технологиялық шешім негізінде мынадай қорытындылар жасалды:

1. Шөгінді топырақтардың физика-механикалық қасиеттеріне талдау жасалды.
2. Кешенді зерттеулер жүргізілді. Статикалық қадаларды сынау нәтижелері топырақтың көтергіштігі максималды жүктеме үшін жеткілікті екенін көрсетті ($P_{max}=239$ тк, $S=1,47$ мм). Қадалардың тұтастығын сынау нәтижелері қанағаттандырылды.
3. Сандық модельдеу жол үйіндісінің тұрақтылығын анықтауға мүмкіндік береді. Жол үйіндісінің тұрақтылығын сандық модельдеу көлік қозғалысы кезінде максималды деформацияның 3,8 мм екенін көрсетті.

Әдебиеттер:

1. Луцаева Т.Т., Васильева Л.В. Испытание грунтов по строящемуся объекту «Большая Алматинская кольцевая дорога (БАКАД)»: Инженерно-геологические работы. – Алматы: Проектно-исследовательский институт ТОО «Казахский Промтранспроект», 2021.
2. KGS, LTD. Working Project «Big Almaty Ring Road Construction». Technical report; 2020.

УДК 624.131.4:625.7/.8

Ильяс О., маг. гр. МСТР-24, КазАДИ

Боранбаев Е.С., Дакибай Д.Н., Қожамберді Н.Р., ст. гр. С-22, КазАДИ

Сағыбекова А.О., к.т.н., профессор, КазАДИ

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СТАБИЛИЗАЦИИ ГРУНТОВ

В статье рассмотрены современные технологии стабилизации грунтов, применяемые при строительстве и реконструкции объектов транспортной и гражданской инфраструктуры. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения несущей способности слабых и неоднородных грунтов, а также увеличения долговечности земляного полотна автомобильных дорог в сложных инженерно-геологических условиях. Проведен анализ традиционных и инновационных методов укрепления грунтов, включая механическую стабилизацию.

Ключевые слова: стабилизация грунтов, химическое закрепление, дорожное строительство, слабые грунты, полимерные добавки.

Бұл мақалада көлік және азаматтық инфрақұрылымды салу және қайта құру кезінде қолданылатын заманауи топырақты тұрақтандыру технологияларын қарастырады. Зерттеудің өзектілігі жұмсақ және гетерогенді топырақтардың көтергіштігін арттыру, сондай-ақ қиын инженерлік және геологиялық жағдайларда жол төсемдерінің беріктігін ұзарту қажеттілігінен туындайды. Механикалық тұрақтандыруды қоса алғанда, топырақты тұрақтандырудың дәстүрлі және инновациялық әдістеріне талдау жасалған.

Түйін сөздер: топырақты тұрақтандыру, химиялық тұрақтандыру, жол құрылысы, жұмсақ топырақтар, полимер қоспалары.

This article examines modern soil stabilization technologies used in the construction and reconstruction of transport and civil infrastructure. The relevance of the study stems from the need to increase the bearing capacity of soft and heterogeneous soils, as well as to extend the durability of roadbeds in challenging engineering and geological conditions. An analysis of traditional and innovative soil stabilization methods, including mechanical stabilization, is provided.

Keywords: soil stabilization, chemical stabilization, road construction, soft soils, polymer additives.

Современное строительство транспортной и гражданской инфраструктуры все чаще осуществляется в сложных инженерно-геологических условиях, характеризующихся наличием слабых, водонасыщенных и неоднородных грунтов. Это обуславливает необходимость разработки и внедрения эффективных технологий их стабилизации, направленных на повышение несущей способности оснований, снижение деформаций и увеличение долговечности сооружений.

Проблемой устойчивости дорожных оснований в Казахстане является природно-климатический фактор.

Дорожное строительство в Республике Казахстан сталкивается с экстремальными условиями: температурные колебания от -40°C до +40°C, наличие слабых пылеватых и глинистых грунтов, а также процессы интенсивного морозного пучения.

Основные причины дефектов:

- Недостаточная несущая способность грунта, потеря прочности при переувлажнении;
- Неравномерные деформации слоев;
- Разрушение структуры при циклах замораживания.

По данным ряда исследований, стабилизация грунтов позволяет существенно повысить эксплуатационные характеристики оснований и сократить затраты на строительство за счёт использования местных материалов [1].

Фундаментальные основы теории стабилизации и консолидации грунтов были заложены в работах К. Терцаги, разработавшего концепцию эффективных напряжений и теорию фильтрационной консолидации, которая до сих пор является базой для анализа поведения водонасыщенных грунтов. Дальнейшее развитие теории было связано с исследованиями Р. Пека и Б. Хансона, которые расширили практические аспекты расчёта оснований и предложили инженерные методы оценки устойчивости грунтовых массивов. Значительный вклад в развитие геотехники внесли также Т. Ламбе и Р. Уитмен, разработавшие современные подходы к изучению физико-механических свойств грунтов.

В последующие годы внимание исследователей было сосредоточено на разработке методов улучшения слабых оснований. Так, Н.В. Романов и Ж. Расинэ рассмотрели технологии механической и гидравлической консолидации, включая динамическое уплотнение, вертикальные дренажи и вакуумную консолидацию, доказав их высокую эффективность как альтернативы свайным фундаментам [2]. Современные исследования также направлены на совершенствование химических методов стабилизации. Так, Е.А. Король и Е.Н. Дегаев экспериментально доказали, что использование извести приводит к изменению структуры глинистых грунтов, увеличению их прочности и снижению фильтрационной способности [3]. Аналогичные результаты получены в работах И.Р. Шайхуллина и соавторов, посвящённых применению цементно-песчаных смесей для укрепления слабых оснований. Исследования К. Rangaswamy и М. Regi демонстрируют перспективность нанохимической стабилизации, позволяющей существенно улучшить характеристики грунтов при минимальном расходе вяжущих компонентов.

Существенный вклад в развитие современных технологий стабилизации внесли исследования в области холодного ресайклинга, представленные В.А. Горьковым и соавторами, где доказана высокая эффективность повторного использования материалов дорожных конструкций при укреплении оснований [4].

Применение технологии стабилизации и укрепления грунтов с использованием стабилизаторов в конструкциях дорожных одежд, где местные укрепленные грунты используются вместо привозных инертных материалов, является принципиально новым подходом в области создания прочных, водостойких и морозостойких оснований.

При стабилизации грунтов имеется возможность улучшить условия уплотнения местных грунтов, в том числе переувлажненных и пучинистых. Данный метод позволяет устраивать морозозащитные слои, а также увеличить несущую способность грунтов оснований.

Комплексная обработка грунта и материалов основания стабилизатором и неорганическим вяжущим позволяет получить при небольшом количестве неорганического вяжущего требуемые прочностные характеристики и улучшенные показатели морозостойкости.



Рисунок 1 – Холодный ресайклинг имеет ряд значительных преимуществ перед другими способами реконструкции.

Стабилизация грунта методом ресайклированием (*рис. 2*) представляет собой процесс тщательного измельчения и смешивания грунта с соответствующими неорганическими связующими материалами (цемента и стабилизатором), добавляют их в пропорции 5–10% от массы, с последующим уплотнением.

При использовании данной технологии неорганическими вяжущими материалами отпадает необходимость в значительном количестве транспорта, поскольку укреплять можно абсолютно любые местный грунты, будь то суглинки, супеси или песчаные грунты, который находятся неподалеку, а доставить остается к месту работ только вяжущее материалы.

При укреплении грунтов происходит существенное увеличение физико-механических характеристик местных грунтов. Метод применяется для устройства как морозозащитных слоев, так и несущих слоев оснований.



Рисунок 2 – Стабилизация грунта методом ресайклированием.

Отсутствие загрязнения окружающей среды благодаря полному использованию материала старой дорожной одежды. Нет необходимости в площадках для отвалов, а объем новых привозных материалов минимален, что снижает загрязнение местности, неизбежное при открытии новых карьеров и каменоломен. Перевозки очень невелики, соответственно расход энергии значительно снижается, как и разрушительное воздействие транспортных средств на дорожную сеть.

В настоящее время для модификации грунтов применяется широкий спектр материалов позволяющих улучшить свойства грунтов, укрепленных цементом. К ним относятся ионные или химические закрепители глинистых грунтов («ROADZYME» – США, «Soil Grip» – Казахстан и др., которые позволяют снизить способность глинистых грунтов взаимодействовать с водой за счет нейтрализации сил поверхностного притяжения воды. К следующему классу стабилизаторов относятся полимерные эмульсии («Envirotac SC» – США, «Skrepton M» – Казахстан). Эффект модифицирования с использованием данных материалов обусловлен распадом эмульсии и отверждением полимера.

Стабилизатор Envirotac SC

Полимерный стабилизатор «Envirotac SC» представляет собой концентрат полимерного стабилизатора грунтов на основе акрилового сополимера, улучшающий физико-механические параметры ремонтируемых участков. При совместном использовании с неорганическими вяжущими (цемент) повышается морозостойкость и устойчивость к трещинообразованию, при этом сокращается количество применяемого неорганического вяжущего.

Согласно результатам лабораторных испытаний и опытного строительства Стабилизатор Envirotac SC можно применять:

- в составе обработанных материалов, в дополнительных слоях основания капитального типа дорожной одежды в зависимости от климатических условий региона строительства;

- в укрепленных грунтах, в основании и дополнительных слоях облегченного и переходного типа дорожной одежды и в основании внутрихозяйственных, промышленных дорог.

При применении неоптимальных составов для повышения прочностных характеристик грунта необходимо добавлять скелетные добавки (щебень и (или) щебеночная смесь, местные материалы).

Заключение

Проведённый анализ современных технологий стабилизации грунтов показал, что в условиях усложнения инженерно-геологических условий строительства применение традиционных методов без их модернизации становится недостаточно эффективным.

Обзор научных исследований подтвердил, что наибольшую эффективность демонстрируют комбинированные методы стабилизации, учитывающие физико-механические свойства грунтов, гидрогеологические условия и эксплуатационные нагрузки. Таким образом, развитие технологий стабилизации грунтов направлено на повышение их эффективности, адаптивности и экологической безопасности. Перспективными направлениями дальнейших исследований являются разработка новых составов стабилизаторов, совершенствование методов их применения, а также создание комплексных моделей прогнозирования поведения укрепленных грунтов в различных условиях эксплуатации. Практическая реализация полученных результатов позволит повысить надёжность и экономическую эффективность строительства объектов транспортной инфраструктуры, особенно в сложных геотехнических условиях.

Литература:

1. *Предложения по применению «технологий стабилизации и укрепления грунтов в инфраструктурном строительстве с применением комплексных вяжущих и наполнителей на основе вторичного сырья и ресурсов, а также местных грунтов» при научно-техническом сопровождении. Выступление на вебинаре «Рециклинг отходов строительства и сноса» Университета Минстроя, 31 марта 2022г.*
2. Романов Н.В. и Расинэ Ж. Обзор современных методов усиления и стабилизации слабых оснований. – М., 2023.
3. Король Е.А. и Дегаев Е.Н. Экспериментальные исследования водно-физических свойств глинистого грунта, стабилизированного негашеной известью // Основания, фундаменты и механика грунтов. – М., 2021.
4. Горьков В.А. и др. Стабилизация грунтов методом «холодного ресайклинга» в условиях многолетнемерзлых грунтов для обустройства нефтегазовых месторождений // Фундаментальные исследования. – М., 2020.
5. Р РК 218-107-2014 Рекомендации по применению стабилизаторов грунтов при строительстве и ремонте автомобильных дорог.

6. Р РК 218-99-2014 Рекомендации по применению стабилизатора «Roadzume» при строительстве и ремонте автомобильных дорог.
7. Р РК 218-98-2014 Рекомендации по применению стабилизатора «Soil Grip» при строительстве и ремонте автомобильных дорог.
8. Р РК 218 -131-2016 Рекомендации по применению стабилизатора Envirotac при строительстве и ремонте автомобильных дорог.
9. Р РК 218–133-2016 Рекомендации по применению каменных материалов и грунтов, обработанных материалом SCREPTON.

3.5 ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЯ

УДК 662.764.37

Айтбаева Е.К., ст. гр. ТГВ 23-1 МОК (КазГАСА)
Алдабергенова Г.Б., ассоц. проф. МОК (КазГАСА)

ТУРБОДЕТАНДЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СПГ: ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ НА ГРС ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОНОМНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ

В статье рассматриваются применение турбодетандерных технологий для производства СПГ и автономной газификации в Казахстане. Замена дросселирования газа на ГРС расширением в турбине, позволяет получать электроэнергию и глубокий холод (-70°C и ниже) без сжигания топлива, используя перепад давления в магистральном газопроводе. Для Казахстана с его протяжёнными сетями и потребностью в автономии турбодетандер – это способ получать «бесплатный» СПГ и свет на существующих газораспределительных станциях.

Ключевые слова: турбодетандерная установка, энергоэффективность, утилизация перепада давления газа, газораспределительная станция (ГРС), снижение выбросов парниковых газов, вторичные энергоресурсы, газовая отрасль Казахстана.

Бұл мақалада Қазақстанда сұйытылған табиғи газды (СТГ) өндіру және автономды газдан-дыру үшін турбодетандерлік технологияларды қолдану қарастырылады. Газ тарату станцияла-рында (ГТС) газды дроссельдеу процесін турбинада кеңейту арқылы алмастыру электр энергиясын және терең суықты (-70°C және одан төмен) отын жақпай-ақ алуға мүмкіндік береді, бұл маги-стральдық газ құбырындағы қысым айырмасын тиімді пайдалануға негізделген. Қазақстанның кең аумақты газ желілері мен автономияға деген сұранысын ескере отырып, турбодетандер технологи-ясы қолданыстағы газ тарату станцияларында «тегін» СТГ мен электр энергиясын өндірудің тиімді тәсілі болып табулаты.

Түйін сөздер: турбодетандерлік қондырғы, энергия тиімділігі, газ қысымының айырмасын пай-далану, газ тарату станциясы (ГТС), парниктік газдар шығарындысын азайту, қайталама энергия ресурстары, Қазақстанның газ саласы.

The article examines the application of turboexpander technologies for the production of liquefied nat-ural gas (LNG) and autonomous gasification in Kazakhstan.

Replacing gas throttling at gas distribution stations with expansion in a turbine allows for the genera-tion of electricity and extreme cold (-70°C and below) without burning fuel, by utilizing the pressure drop in the main gas pipeline. For Kazakhstan, with its extensive networks and need for autonomy, the turbo-expander is a way to obtain “free” LNG and electricity at existing gas distribution stations.

Keywords: turboexpander unit, energy efficiency, gas pressure drop recovery, gas distribution station (GDS), greenhouse gas emission reduction, secondary energy resources, Kazakhstan gas industry.

Турбодетандерные технологии – это эффективный способ получать сжиженный природный газ (СПГ) и электроэнергию, используя перепад давления в газопроводах, который раньше просто терялся. Для Казахстана с его развитой газотранспортной системой это открывает возможность обеспечить газом удаленные районы без строительства дорогих трубопроводов. Технология идеально подходит для газораспределительных станций (ГРС), где давление нужно снижать для рядовых потребителей [1].

Внедрение таких установок поможет решить несколько задач:

Газификация удаленных поселков: СПГ удобно доставлять автотранспортом туда, где строить трубы нерентабельно, снижая зависимость от привозного угля и солянки.

Энергонезависимость: выработка дешевой электроэнергии на собственных ГРС для нужд поселков или промышленности.

Переработка попутного газа: позволяет эффективно утилизировать сырье на небольших месторождениях, извлекая ценную пропан-бутановую фракцию.

Стимуляция бизнеса: развитие малотоннажного производства СПГ даст импульс малому и среднему бизнесу в регионах.

Для Казахстана с его протяженными газовыми сетями это не просто экономия, а технологический рывок в автономном снабжении энергией и топливом.

Производство сжиженного природного газа (СПГ) – это процесс превращения газообразного метана в жидкость, занимающую в 600 раз меньше объема. Это позволяет перевозить газ туда, где нет трубопроводов [2].

Весь процесс состоит из трех основных этапов: очистка, сжижение и хранение.

1. Подготовка и очистка

Перед охлаждением газ необходимо очистить, иначе примеси замерзнут и сломают оборудование:

- удаление CO_2 и сероводорода (чтобы не было «сухого льда»);
- осушка (удаление воды, которая превращается в лед);
- удаление ртути (она разъедает алюминиевые теплообменники);
- извлечение тяжелых углеводородов (пропана, бутана) – они станут сжиженным нефтяным газом (СНГ).

На выходе остается практически чистый метан.

2. Сжижение (основная технология)

Газ охлаждают до $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$, при которых он конденсируется. Чтобы добиться такого холода, используют огромные холодильные машины с каскадом хладагентов (пропан, этилен, метан или азот). Основные технологические процессы:

- Классический каскад (APCI): используется в больших заводах. Три независимых контура с разными хладагентами.

- Смешанный хладагент (MRC): более эффективен для мегатонн. Смесь азота, метана, этана, пропана циркулирует в одном контуре.

- Процесс с расширителем (Nitrogen Expander): тот самый турбодетандер. Газ охлаждается за счет расширения в турбине. Менее эффективен для гигантских заводов, но идеален для малотоннажного производства (например, для заправки газозовозов или снабжения удаленных поселков в Казахстане).

Самый эффективный способ охлаждения – теплообменники, где газ встречается с кипящим хладагентом. Такие заводы потребляют до 10-15% собственного газа на работу компрессоров [3].

3. Хранение и отгрузка

Жидкий метан хранится в специальных криогенных резервуарах с двойными стенками (вакуумная изоляция). Даже в них СПГ постепенно испаряется (около 0,05% в сутки) – этот газ используют для нужд завода.

Транспортируют СПГ в танкерах-метановозах при температуре -162°C . При прибытии газ регазифицируют (испаряют) и подают в трубопровод, либо заливают в автоцистерны для доставки потребителям.

Турбодетандер – это высокоточная машина, работающая в экстремальных условиях. Ее основные элементы:

1. Корпус и Ротор. Герметичный литой корпус, внутри которого вращается вал-ротор со скоростью до 30-50 тыс. об/мин. На валу закреплены главные рабочие элементы.

2. Рабочее колесо (Турбина). Самая нагруженная часть – диск с лопатками сложной формы (обычно радиально-осевой). Именно на него давит поток газа, заставляя вал вращаться.

3. Сопловой аппарат. Это неподвижные лопатки-направляющие перед колесом. Они разгоняют газ до сверхзвуковой скорости и направляют его под нужным углом на лопатки турбины.

4. Генератор. Находится на том же валу. Когда ротор крутится, он вырабатывает электроэнергию (напряжением до 10,5 кВ).

5. Система подшипников и уплотнений:

- Подшипники (газодинамические или на масляной подушке): удерживают вал, гасят вибрации и осевые нагрузки.

- Уплотнения (лабиринтные + торцевые): самая критичная система. Она предотвращает утечку взрывоопасного газа наружу и не дает маслу из подшипников попасть в чистый газовый тракт.



Рисунок 1 – Конструктивная схема турбодетандерной установки для производства сжиженного природного газа (СПГ).

Путь газа: «Подготовка, Работа, Результат». Газ перед попаданием в эту «турбину» должен быть идеально чистым.

Этап 1: Подготовка газа перед турбодетандерной установкой.

Недостаточная подготовка газа может привести к образованию льда и механическим повреждениям оборудования.

Механическая очистка. Газ проходит через фильтры-пылеуловители для удаления твёрдых примесей (песка, окалины, продуктов коррозии), присутствующих в трубопроводе.

Осушка. Удаление водяного пара (с применением гликолевых растворов или цеолитовых адсорбентов) предотвращает образование льда и газовых гидратов при понижении температуры в процессе расширения.

Подогрев. Перед подачей в турбодетандер газ может подвергаться предварительному подогреву. Это необходимо для предотвращения чрезмерного снижения температуры и возможного обмерзания оборудования на входе [4].

Этап 2: Внутреннее устройство и работа турбодетандера (ключевой элемент процесса)

Очищенный газ высокого давления поступает в турбодетандер – устройство, где он проходит через сопловой аппарат, разгоняется и направляется на лопатки рабочего колеса.

Отбор энергии. Поток газа передаёт часть своей энергии рабочему колесу, заставляя его вращаться. Через вал механическая энергия может передаваться генератору, где преобразуется в электрическую энергию [5].

Эффект охлаждения. При расширении в турбодетандере газ совершает работу, вследствие чего его внутренняя энергия уменьшается, и температура падает. На выходе газ может охлаждаться до значений порядка $-70\text{ }^{\circ}\text{C} \dots -100\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже, одновременно снижая давление до требуемого уровня.

Этап 3: Использование холодного газа после турбодетандера

Охлаждённый газ далее используется в технологических процессах:

Получение СПГ. Часть холодного потока направляют в криогенный теплообменник. За счёт разности температур происходит охлаждение входящего потока газа, который при определённых условиях может частично или полностью сжижаться, образуя СПГ (сжиженный природный газ).

Подготовка к транспортировке. Для предотвращения обмерзания оборудования и трубопроводов холодный газ может дополнительно подогреваться до температуры около $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ перед подачей в городскую или распределительную сеть.

Использование энергии. Выработанная на валу турбодетандера энергия может использоваться для генерации электроэнергии либо для привода компрессорного оборудования в более сложных технологических схемах.

В традиционных схемах редуцирования газа давление просто снижается через дросселирование, при этом энергия и холод теряются без полезного использования. Турбодетандер позволяет частично утилизировать энергию давления, преобразуя её в механическую или электрическую энергию и одновременно получая эффект глубокого охлаждения газа, который может быть использован в технологических процессах [6].

Литература:

1. «Турбодетандеры и их применение в технологических процессах» – Хайнц П. Блох, Клэр Соарес (Gulf Professional Publishing, 2001)
2. «Расширители для нефтегазовой промышленности: конструкция, применение и устранение неисправностей» – Мурари П. Сингх, Майкл Дж. Дрошак, Дэвид Х. Линден (McGraw-Hill, 2014)
3. «Турбодетандерные агрегаты в системах подготовки и распределения природного газа» – В.П. Мальханов.
4. «Методика и результаты расчета малотоннажного цикла среднего давления с турбодетандером, работающем на перепаде давления для сжижения природного газа» – Визгалов С.В., Хисамеев И.Г. (Вестник Международной академии холода, №1, 2021)

5. «Анализ качественных характеристик турбодетандера в производственном цикле сжиженного природного газа» – Ясаин В.А., Лебедева Д.Д. (Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса, №5, 2024)
6. «Модернизация газораспределительных станций магистральных газопроводов» – С. А. Гулина и др. (Вестник Самарского государственного технического университета, Т.32, №4, 2024).

УДК 621.3.032.214

Асан Н.Б., ст. гр. ТГВ 23-1 МОК (КазГАСА)
Алдабергенова Г.Б., ассоц. проф. МОК (КазГАСА)

СОВРЕМЕННЫЕ ГАЗОВЫЕ И ЖИДКОТОПЛИВНЫЕ КОТЛЫ: ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

В данной статье представлен глубокий аналитический обзор текущего состояния и перспектив развития котельного оборудования, работающего на газе и жидком топливе. Отмечается, что в условиях глобальной урбанизации и энергетического перехода роль инновационных тепловых агрегатов становится решающей. В работе исследуются механизмы повышения коэффициента полезного действия (КПД) через внедрение конденсационных технологий, а также анализируется влияние цифровой автоматизации на эксплуатационную безопасность и ресурсосбережение. Статья нацелена на демонстрацию того, как современные инженерные решения трансформируют традиционную систему теплоснабжения в высокоэффективный интеллектуальный комплекс.

Ключевые слова: котельное оборудование, газовое топливо, жидкое топливо, конденсационные технологии, коэффициент полезного действия (КПД), цифровая автоматизация, энергосбережение, эксплуатационная безопасность, теплоснабжение, инновационные технологии.

Бұл мақалада газбен және сұйық отынмен жұмыс істейтін қазандық жабдықтардың қазіргі жағдайы мен дамудың болашағы терең аналитикалық тұрғыдан қарастырылған. Жаһандық урбанизация мен энергетикалық өтудің жағдайында инновациялық жылу агрегаттарының рөлі шешуші болып отырғаны атап көрсетіледі. Конденсациялық технологияларды енгізу арқылы пайдалы әсер коэффициентін (ПӘК) арттыру механизмдері зерттелген, сондай-ақ цифрлық автоматтандырудың эксплуатациялық қауіпсіздік пен ресурстарды үнемдеуге әсері талданған. Мақала заманауи инженерлік шешімдердің дәстүрлі жылумен қамтамасыз ету жүйесін жоғары тиімді интеллектуалды кешенге қалай түрлендіретінін көрсетеді.

Түйін сөздер: қазандық жабдықтар, газ отыны, сұйық отын, конденсациялық технологиялар, пайдалы әсер коэффициенті (ПӘК), цифрлық автоматтандыру, энергия үнемдеу, пайдалану қауіпсіздігі, жылумен жабдықтау, инновациялық технологиялар.

This article presents a comprehensive analytical review of the current state and development prospects of boiler equipment operating on gas and liquid fuels. It emphasizes that, in the context of global urbanization and the energy transition, the role of innovative heating units is becoming decisive. The study examines mechanisms for increasing efficiency through the implementation of condensing technologies, and analyzes the impact of digital automation on operational safety and resource conservation. The article demonstrates how modern engineering solutions transform traditional heating systems into highly efficient intelligent complexes.

Keywords: boiler equipment, gas fuel, liquid fuel, condensing technologies, efficiency (efficiency coefficient), digital automation, energy saving, operational safety, heat supply, innovative technologies.

В условиях глобальной урбанизации и энергетического перехода особую актуальность приобретает повышение эффективности систем теплоснабжения. Современные котельные установки претерпевают значительные технологические изменения, направ-

ленные на снижение энергопотребления, повышение экологической безопасности и автоматизацию процессов управления. В данной работе рассматриваются инновационные решения в области тепловых агрегатов, их технические особенности и экономическая эффективность.

1. Технологический прорыв: газовые конденсационные агрегаты.

На сегодняшний день газовое оборудование остается доминирующим сегментом, однако его внутренняя архитектура претерпела значительные изменения.

Принцип конденсации: в отличие от традиционных (конвекционных) котлов, современные установки осуществляют отбор тепловой энергии у водяного пара, содержащегося в дымовых газах. Это позволяет поднять КПД до рекордных 108-110% (по низшей теплоте сгорания) [4].

Экономический эффект: использование данной технологии обеспечивает прямую экономию газового топлива в пределах 15–20% [8].

Экологический аспект: снижение температуры отходящих газов до уровня 40–60°C существенно уменьшает тепловое загрязнение атмосферы и снижает токсичность выхлопа.

2. Жидкотопливные инновации и мультитопливная гибкость

Для регионов, не имеющих прямого доступа к газотранспортным сетям, жидкотопливные котлы остаются безальтернативным решением, прошедшим глубокую модернизацию.

Совершенствование сгорания: применение цилиндрических горелок с предварительным смешиванием воздуха и подогревом топлива позволяет добиться более полного окисления углеводородов [5].

Альтернативное топливо: современные форсунки адаптированы не только под дизельное топливо, но и под экологически чистый биодизель или переработанные масла, что повышает энергетическую независимость объекта.

Снижение шума: использование звукопоглощающих кожухов и оптимизация аэродинамики дымовых каналов делают работу мощных агрегатов практически бесшумной [5].

3. Автоматизация и интеллектуальные системы контроля

Ключевым отличием современных систем является их «интеллектуальность», обеспечиваемая многоуровневой электроникой.

Погодозависимая модуляция: система анализирует данные наружных сенсоров и плавно регулирует мощность пламени (в диапазоне от 10% до 100%), предотвращая перерасход энергии [6].

Цифровая диагностика и IoT: интеграция через протоколы OpenTherm, BACnet или Modbus позволяет владельцу управлять климатом через мобильное приложение. Удаленный мониторинг дает возможность сервисным центрам выявлять неисправности еще до их фактического проявления.

Комплексная безопасность: современный блок защиты включает:

- ионизационный контроль пламени (мгновенное отсечение топлива при затухании);
- датчики дифференциального давления (защита от «сухого хода» и перегрева);
- автоматический рестарт после стабилизации электроснабжения;
- финансовая эффективность и окупаемость.

Инвестиции в инновационное котельное оборудование оправданы их долгосрочным финансовым преимуществом [1].

4. Ключевые преимущества современных котельных систем и автоматизации.

Максимальная энергоэффективность – благодаря внедрению конденсационных технологий, КПД современных агрегатов достигает 108–110%. Это позволяет использовать скрытую теплоту дымовых газов и сокращать расходы топлива на 15-20% по сравнению с традиционными моделями.

Интеллектуальное управление (Smart Control) – поддержка протоколов Open-Therm и Modbus обеспечивает интеграцию в экосистему «Умного дома». Дистанционный контроль через смартфон и погодозависимая автоматика позволяют снизить общие затраты на отопление до 30%.

Экологическая безопасность – снижение температуры отходящих газов до 40–60°C и использование горелок с предварительным смешиванием топлива минимизируют выбросы вредных веществ (CO₂ и NO_x), что соответствует мировым экологическим стандартам [4].

Многоуровневая защита – современные блоки безопасности включают ионизационный контроль пламени, датчики давления и защиту от «сухого хода». Это гарантирует 100% защиту от утечек газа, перегрева или аварийных ситуаций.

Долговечность и стабильность – функция плавной модуляции мощности (от 10% до 100%) предотвращает тактование (частое включение/выключение) котла. Это значительно снижает износ деталей и увеличивает срок службы оборудования до 15-20 лет.

Универсальность и автономность – современные системы проектируются с учетом возможности работы на различных видах топлива (газ, дизель, биодизель). Автоматическая самодиагностика и функция авторестарта минимизируют необходимость вмешательства человека в работу. Сравнительная характеристика традиционных и конденсационных котельных установок приведена в *таблице 1*.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика традиционных и конденсационных котельных установок.

Параметр сравнения	Традиционный котел	Современный конденсационный агрегат
Удельный расход топлива	Высокий (100%)	Сниженный (80–85%)
Срок окупаемости системы	—	2–4 отопительных сезона
Ресурс работы	10–12 лет	15–20 лет (при плановом ТО)
Затраты на управление	Ручная настройка	Автоматическая оптимизация

5. Технологические тренды и системная интеграция.

В дополнение к основным характеристикам эффективности современные котельные комплексы интегрируют в себя решения, которые ранее применялись только в промышленной энергетике.

1. Гибридные тепловые схемы

Одной из наиболее актуальных тенденций является создание гибридных систем, где газовый или жидкотопливный котел работает в паре с возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ). Синергия с гелиосистемами: Котел выступает в роли резервного источника, включаясь только тогда, когда мощности солнечных коллекторов недостаточно для нагрева ГВС (горячего водоснабжения).

Автоматическое переключение. Контроллер самостоятельно выбирает наиболее дешевый в данный момент источник теплоты, исходя из заданных тарифов на газ и электроэнергию. Гибридная схема на *рисунке 1* [8].

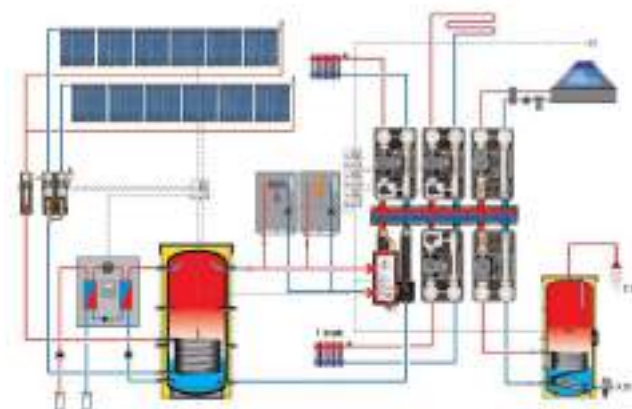


Рисунок 1 – Схема гибридной системы теплоснабжения с интеграцией котла и солнечных коллекторов.

На рисунке 1 представлена принципиальная схема гибридной системы теплоснабжения, объединяющей традиционный котельный агрегат и возобновляемые источники энергии. В данной системе котел выполняет функцию резервного или дополнительного источника тепловой энергии, включаясь при недостаточной мощности альтернативных источников, таких как солнечные коллекторы.

Схема демонстрирует взаимодействие основных элементов системы: теплогенератора, накопительного бака (аккумулятора тепла), насосных групп и системы автоматического управления. Контроллер осуществляет непрерывный анализ температурных параметров и в зависимости от внешних условий выбирает оптимальный режим работы, обеспечивая эффективное распределение тепловой энергии между контурами отопления и горячего водоснабжения.

2. Материаловедение и микропроцессорная техника

Нанокерамические покрытия. В жидкотопливных котлах нового поколения внутренние поверхности камер сгорания покрываются специальными составами, предотвращающими коррозию от сернистых соединений, что увеличивает безремонтный период.

Предиктивная аналитика (AI). Современные системы автоматизации начинают использовать элементы искусственного интеллекта. Они анализируют тепловую инерцию здания и «запоминают», как быстро дом теряет тепло, чтобы оптимизировать график включения горелки и сэкономить еще 5–7% ресурсов сверх стандартной нормы.

3. Удаленная диспетчеризация и «Облачные» решения

Цифровой двойник. Современное ПО позволяет создавать виртуальную модель котельной. Это дает возможность инженерам проводить пусконаладочные работы и оптимизацию режимов горения дистанционно, без выезда на объект.

Push-протоколы. В отличие от старых систем, которые просто подавали сигнал тревоги, современные системы через *Wi-Fi/GSM* шлюзы присылают детальный отчет: например, «низкое давление в контуре А» или «необходима чистка фильтра», что сокращает время простоя оборудования.

4. Эффективность ГВС (Горячего водоснабжения)

Послойный нагрев. В современных автоматизированных системах используются баки послойного нагрева. Это позволяет получать горячую воду уже через несколько минут после включения, не дожидаясь прогрева всего объема бака, что существенно повышает комфорт и снижает непроизводительные потери тепла [3].

Литература:

1. СН РК 4.02-01-2011. Отопление, вентиляция и кондиционирование. – Астана, 2011.
2. СП РК 4.02-101-2012. Тепловые сети. – Астана, 2012.
3. ASHRAE Handbook – HVAC Systems and Equipment. – Atlanta: ASHRAE, 2020.
4. Viessmann. Основы конденсационной техники. – Германия, 2019.
5. Bosch Thermotechnology. Современные котельные технологии и автоматизация. – 2021.
6. Danfoss. Автоматизация систем отопления и управление тепловыми процессами. – 2020.
7. CIBSE Guide B: Heating, Ventilating, Air Conditioning and Refrigeration. – London, 2016.
8. IEA (International Energy Agency). Energy Efficiency Report. – 2022.

ӘОЖ 355.673.1

Дайрабаева А.С., ХБК (ҚазБСҚА) ТГВ 23-1 тобы студ.

Абиева Г.С., т.ғ.к., ХБК (ҚазБСҚА) қауымд. проф.

БИІК ҒИМАРАТТАРДЫ ЖЫЛЫТУ ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ ТӘСІЛІ

Көпқабатты ғимараттарды жылыту жүйелерінің энергия тиімділігін арттыру мүмкіндіктері жан-жақты қарастырылды. Жекелеген ғимараттардағы жылыту жүйелерінің жұмыс істеу принциптері талданып, жылыту құрылғыларында туындайтын артық қысымды төмендетуге бағытталған дәстүрлі инженерлік шешімдер сипатталды. Сонымен қатар, қолданыстағы тәсілдердің негізгі кемшіліктері айқындалды. Биік ғимараттардың жылыту жүйелерін ұйымдастырудың жаңа әдісі ұсынылып, оны жүзеге асыратын арнайы құрылғы негізделді. Энергия үнемдеу технологияларын енгізудің экономикалық тұрғыдан тиімділігіне баға берілді.

Түйін сөздер: жылыту жүйесі, рекуперация, энергия тиімділігі, қалақ механизмдері, артық қысым, энергия үнемдеу, биік ғимарат.

Рассмотрены возможности повышения энергоэффективности систем отопления многоэтажных зданий. Проанализированы принципы работы отопительных систем в отдельных зданиях, а также описаны традиционные инженерные решения, направленные на снижение избыточного давления в отопительных устройствах. Кроме того, выявлены основные недостатки существующих подходов. Предложен новый метод организации систем отопления высотных зданий и обосновано специальное устройство для его реализации. Дана оценка экономической эффективности внедрения энергосберегающих технологий.

Ключевые слова: система отопления, рекуперация, энергоэффективность, лопастные механизмы, избыточное давление, энергосбережение, высотное здание.

The article examines the potential for enhancing the energy efficiency of heating systems in high-rise buildings. It outlines the fundamental operating principles of such systems and reviews conventional engineering solutions designed to reduce excessive pressure in heating devices. The key limitations of existing approaches are also identified. A novel method for improving the performance of heating systems in high-rise buildings is proposed, along with a device that enables its implementation. The economic feasibility and benefits of applying energy-saving technologies are also assessed.

Keywords: head recuperation, energy efficiency, energy savings, impeller blade mechanism, excessive pressure, heating system, high-rise building.

Биік ғимараттарды салудың орындылығы мәселесі сәулетшілер, инженерлер және қауіпсіздік саласындағы мамандар арасында өзектілігін жоғалтпай, тұрақты түрде талқыланып келеді.

Қазіргі таңда қалалардың ретсіз және бақылаусыз кеңеюі қоғамның әл-ауқатына теріс әсер ететіні айқын байқалады. Қалалардың «көлденең» бағытта өсуі энергиямен қамтамасыз етуге кететін шығындардың артуына, сондай-ақ тұрғындардың жұмысқа бару және үйіне қайту барысында еңсеретін қашықтықтарының ұлғаюына алып келеді. Мысалы, 2000 жылдан 2024 жылға дейін Алматы қаласы тұрғынының бір тәулікте жүріп өтетін орташа қашықтығы 2,4 км-ден 40 км-ге дейін артқан [8].

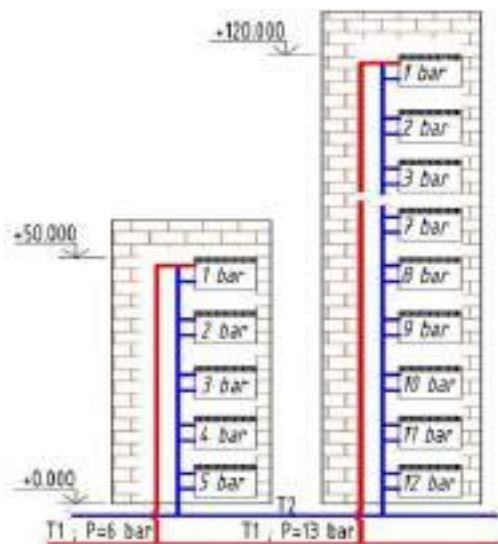
Соңғы жылдары жаңадан тұрғызылып жатқан ғимараттардың орташа қабаттылығының тұрақты түрде өсіп келе жатқанын байқауға болады. Ғимараттардың биіктігі артқан сайын олардың құрылымдық, сәулеттік және жоспарлау шешімдері күрделене түседі, соның ішінде жылыту жүйелерін жобалау да анағұрлым күрделі сипат алады [7].

Осы жұмыстың негізгі мақсаты – биік ғимараттардың жылыту жүйелерінің жұмысын оңтайландырудың бір әдісіне қатысты авторлық тұжырымдаманы ұсыну, сондай-ақ ұсынылып отырған шешімнің энергетикалық және экономикалық тиімділігін алдын ала бағалау.

Егер ғимарат орталықтандырылған жылу энергиясы көзіне қосылған болса, оның жылыту жүйесінің құрылымдық шешімдері аз қабатты ғимараттардағы жүйелерден айтарлықтай ерекшеленеді. Мұның басты себебі – абоненттердегі гидростатикалық қысымның рұқсат етілген шекті мәндерімен байланысты [6].

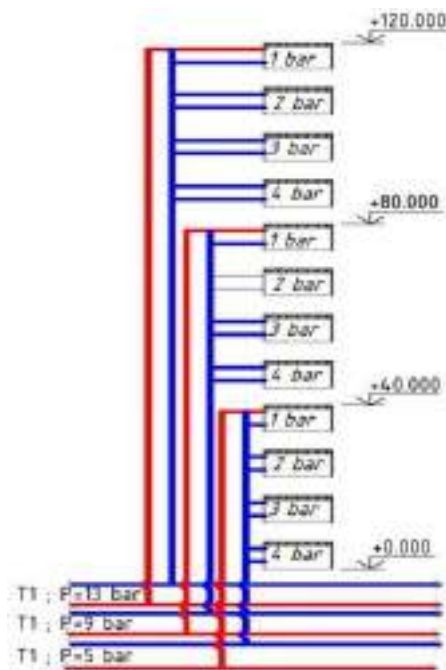
Ғимараттың төменгі қабаттарында орналасқан жылыту аспаптары жоғарғы қабаттардағы құрылғылармен салыстырғанда едәуір жоғары қысым жағдайында жұмыс істейді (1-суретке сәйкес). Ғимараттың биіктігі артқан сайын, деңгей айырмасынан туындайтын гидростатикалық қысымның жылыту аспаптары үшін белгіленген рұқсат етілген шектен асып кету ықтималдығы да өседі.

Қолданыстағы нормативтік құжаттарға [6] және Ресейдегі практикалық түрде жүргізілген жобалау тәжірибесінде қалыптасқан талаптарға сәйкес, қысымның шекті мәні ең қолайсыз жағдай ескеріліп қабылданады және шамамен 6 бар деңгейінде белгіленеді.



1-сурет – Ғимаратты жылыту жүйесінің схемасы.

Аталған тәсілдердің әрқайсысының өзіндік артықшылықтары мен кемшіліктері бар [1, 4, 7]. Қазіргі кезде Қазақстанда кеңінен қолданылатын әдіс – жылыту жүйелерін тігінен аймақтарға бөлу болып табылады (2-суретке сәйкес).



2-сурет – Ғимаратты жылытудың аймақтық жүйесі.

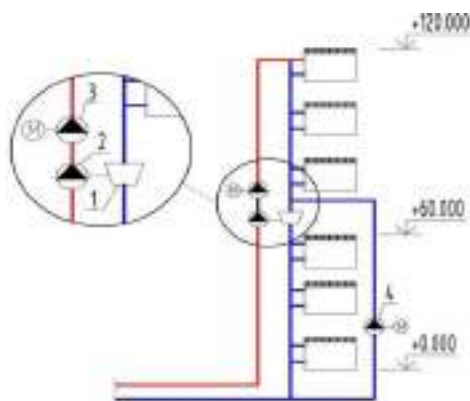
2-суреттен көрінгендей, мұндай қосылу сызбасында барлық аймақтар үшін гидростатикалық қысымның біркелкі параметрлері қамтамасыз етіледі. Алайда бұл шешім жүйенің металл сыйымдылығының артуына және оның жалпы күрделенуіне әкеледі. Сонымен қатар, кейбір жағдайларда аймақтарға бөлу тәсіліне байланысты әр деңгейде техникалық қабаттарды қарастыру қажеттілігі туындайды.

Биік ғимараттардың жылыту жүйелерінде жылу тасымалдағыштың рұқсат етілген статикалық қысымын қамтамасыз етудің баламалы тәсілі

Біз жылу беру жүйелеріндегі жылу тасымалдағыштың рұқсат етілген статикалық қысымын қамтамасыз етудің баламалы тәсілдерінің бірі ретінде аймақтарға бөлу әдісін қарастырамыз. Оның мәні – бүкіл жүйе бойынша бастапқыда жоғарғы қабаттарда орналасқан жылыту аспаптарының қалыпты жұмыс істеуі үшін қажетті артық қысым қалыптастыру, ал төменгі деңгейлердегі аспаптарды реттеуші құрылғылар арқылы артық қысымды дроссельдеу жолымен қорғау. Бұл тәсілге балама ретінде артық қысымды рекуперациялауға мүмкіндік беретін арнайы құрылғылар қолданылатын жылыту жүйелері ұсынылады [6, 9]. Мұндай жүйенің сызбасы 3-суретте келтірілген.

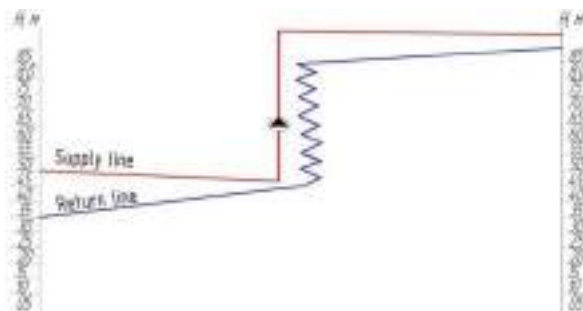
Биік ғимараттардың жылыту жүйелерінде артық қысымды пайдаланудың жаңа тәсілі келесідей жүзеге асырылады: гидравликалық турбина (1-позиция) жүйенің кері құбырына орнатылып, сорғының (айдағыштың) жұмыс дөңгелегімен бір білік арқылы байланыстырылған (3-сурет). Жоғарылатқыш сорғының көмегімен (3-позиция) жылу тасымалдағыш жоғарыда орналасқан жылыту аспаптарына жеткізіледі. Одан әрі артық қысымға ие жылу тасымалдағыш турбина арқылы өтеді (1-позиция), нәтижесінде ағынның кинетикалық энергиясы біліктің айналу энергиясына түрленеді. Бұл айналу моменті өз кезегінде сорғының жұмыс дөңгелегіне беріледі (2-позиция).

Турбина қалақтары арқылы өткен кезде жылу тасымалдағыш ағынының артық қысымы төмендетіледі. Осылайша, төменгі деңгейлерде орналасқан жылыту аспаптарының қалыпты жұмыс істеуі қамтамасыз етіліп, олардың шамадан тыс қысым аймағына түсуінің алдын алады. Бұл құбылыс пьезометриялық графикте айқын көрсетілген (4-сурет).



3-сурет – Жылу тасымалдағыштың қажетті параметрлерін қамтамасыз етудің баламалы тәсілі.

Гидростатикалық режимде жүйенің жұмысын айналма құбырға орнатылған сорғы қамтамасыз етеді (4-сурет, 3-позиция). Сорғы арқылы қозғалысқа келтірілген жылу тасымалдағыш ағыны (4-сурет, 4-позиция) турбинаның жұмыс дөңгелегін айналдырады. Турбинамен байланысқан білік арқылы айталу моменті айдағышқа беріледі (4-сурет, 2-позиция), нәтижесінде жылыту жүйесінде қажетті статикалық қысым деңгейі қалыптастырылады.



4-сурет – Жылыту жүйесінің пьезометриялық графигі.

Экономикалық нәтиже. Осы жұмыста қарастырылып отырған әдіс – жылыту жүйелерін аймақтарға бөлудің баламасы болып табылатын, қарапайым әрі тиімді энергия үнемдеу шараларының бірі ретінде ұсынылады [2]. Биік ғимаратты жылумен қамтамасыз етудің дәстүрлі схемасының құнын аймақтарға бөлу әдісімен және артық қысымды рекуперациялауға мүмкіндік беретін құрылғы қолданылатын баламалы схемамен салыстырып қарастырайық.

Мысал ретінде тіреу биіктігі 80 м, құбыр диаметрі 25 мм және жылу тасымалдағыш шығыны 2,6 м³/сағ болатын 27 қабатты ғимараттың жылыту жүйесін алайық.

Жобаны іске асыруға қажетті күрделі салымдарды бағалау үшін негізгі жабдықтардың шамаланған құндық көрсеткіштері ескеріледі:

- жүйенің металл сыйымдылығы;
- сорғы жабдықтарының құны;
- қосымша жабдықтар мен арматураның құны.

Аймақтарға бөлінген дәстүрлі жылыту жүйесінің құны: металл сыйымдылығы – МЕМСТ 3262-75 [3] бойынша су-газ құбырларының 1 м құны шамамен 4 980 теңгені құрайды. 240 м құбыр үшін:

$$Бқ = 240 \times 4\,980 = 1\,195\,200 \text{ теңге.}$$

Сорғы жабдығы: 40 м қысымды қамтамасыз ететін көтергіш сорғының құны шамамен 1 135 080 теңге.

Қысым реттегіш: шамамен 284 520 теңге.

Жүйенің жалпы құны: $C_{ж} = B_{қ} + C_{с} + C_{р}$.

$C_{ж} = 1\,195\,200 + 1\,135\,080 + 284\,520 = 2\,614\,800$ теңге,

мұндағы: $C_{ж}$ – жалпы құн; $B_{қ}$ – құбырлар құны; $C_{с}$ – сорғы жабдығының құны; $C_{р}$ – реттеу құрылғысының құны.

Рекуперация құрылғысы қолданылатын жүйенің құны: металл сыйымдылығы – қажетті құбыр ұзындығы 160 м:

$B_{қ} = 160 \times 4\,980 = 796\,800$ теңге.

Сорғы жабдығы: 10 м қысымды қамтамасыз ететін сорғы құны шамамен 474 120 теңге.

Рекуперациялық құрылғы: шамамен 480 000 теңге.

Жүйенің жалпы құны: $C_{ж} = B_{қ} + C_{с} + C_{қ}$.

$C_{ж} = 796\,800 + 474\,120 + 480\,000 = 1\,750\,920$ теңге.

Есептеулерде аралық техникалық қабаттардың, қосымша тіректер мен қосалқы жабдықтардың құны ескерілмеген.

Жүргізілген экономикалық салыстыру нәтижелері бойынша, рекуперация технологиясын қолдану дәстүрлі аймақтық жүйемен салыстырғанда жалпы шығындарды шамамен 67%-ға дейін төмендетуге мүмкіндік береді.

Ұсынылған тәсілдің экономикалық тиімділігін бағалау үшін электр энергиясына кететін шығындарды да салыстыру қажет. Мысалы, екі тарифтік жүйе жағдайында (күндізгі және түнгі тарифтер) энергия тұтыну шығындары төмендейді.

Дәстүрлі жүйеде қолданылатын сорғының қуаты 2,2 кВт, бұл энергия шығынының айтарлықтай жоғары екенін көрсетеді. Ал рекуперацияны қолдану арқылы жүйедегі артық қысым энергиясы қайта пайдаланылып, жалпы энергия тұтыну көлемін азайтуға мүмкіндік береді.

Түнгі режимде тұтынылатын электр энергиясының құны келесі өрнек бойынша анықталады:

$E_n = 0,0022 \times 3600 \times 8 \times 1,43 / 3,6 = 151,0$ теңге/тәулік.

Күндізгі режимдегі электр энергиясының құны:

$E_k = 0,0022 \times 3600 \times 16 \times 3,94 / 3,6 = 831,6$ теңге/тәулік.

Тәуліктік жиынтық шығын:

$E = E_k + E_n = 151,0 + 831,6 = 982,6$ теңге/тәулік.

Жылыту маусымы (198 тәулік) үшін жалпы шығын:

$E_{жал} = 982,6 \times 198 = 194\,555$ теңге.

Жетілдірілген (рекуперация қолданылатын) жылыту жүйесінде электр энергиясын тұтыну айтарлықтай төмендейді. Қолданылатын сорғының қуаты – 0,19 кВт (0,00019 МДж).

Түнгі режимдегі шығын:

$E_n = 0,00019 \times 3600 \times 8 \times 1,43 / 3,6 = 13,0$ теңге/тәулік.

Күндізгі режимдегі шығын:

$E_k = 0,00019 \times 3600 \times 16 \times 3,94 / 3,6 = 71,8$ теңге/тәулік.

Тәуліктік жалпы шығын:

$E = 13,0 + 71,8 = 84,8$ теңге/тәулік.

Осылайша, жетілдірілген жүйені қолдану нәтижесінде электр энергиясына жұмсалатын тәуліктік және маусымдық шығындар бірнеше есе азаяды, бұл оның жоғары энергетикалық тиімділігін көрсетеді.

Барлық жылыту кезеңінде тұтынылатын электр энергиясының құны:

$$\text{Эобщ} = \text{Э} \cdot z = 14,2 \cdot 198 = 15465 \text{ теңге.}$$

Бұл тәсілді қолданудың экономикалық орындылығы анық.

Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде қазіргі заманғы ғимараттардың жылыту жүйелерінде артық қысымды рекуперациялауға мүмкіндік беретін құрылғының принциптік сызбасы әзірленді. Ұсынылған тәсілді дәстүрлі шешімдермен салыстыру барысында оның бірқатар маңызды артықшылықтары айқындалды:

- жүйенің металл сыйымдылығын айтарлықтай төмендетуге мүмкіндік береді;
- орнатылатын жабдықтар мен арматураға жұмсалатын шығындарды қысқартады;
- қуаттылығы төмен, сәйкесінше құны да аз көтергіш сорғыларды қолдануға жағдай жасайды;
- электр энергиясын тұтынуды үнемдеуді қамтамасыз етеді;
- қосымша техникалық қабаттарды қарастыру қажеттілігін жояды.

Әдебиеттер:

1. Бородач М.М. Инженерное оборудование высотных зданий. – М.: АВОК-пресс, 2007. – 320 с.
2. МЕМСТ Р 51541-99. Энергетикалық тиімділік. Көрсеткіштердің құрамы. Жалпы ережелер.
3. МЕМСТ 3262-75. Су-газ өткізгіш болат құбырлар.
4. Колубков А.Н. Опыт проектирования и эксплуатации инженерных систем новых высотных жилых комплексов Москвы. // АВОК. – 2005. – №2. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2778 (дата обращения: 20.10.2017).
5. Макаров Д.А., Лихачев И.Д., Черненко В.П., Еськин А.А., Ревенко Д.О. Пат. РФ 2577714 Способ работы системы теплоснабжения. Заявка № 2014150038 от 10.12.2014.
6. СП 60.13330.2012. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.
7. Щукина Н.М. Современное высотное строительство: монография. – М.: ИТЦ Москомархитектуры, 2007. – 440 с.
8. Donald E. Ross, Atlanta, HVAC Design Guide for Tall Commercial Buildings, 2004.
9. Makarov D.A., Chernenkov V.P., Likhachev I.D. Optomization of pump-throttling substation of heating networks. Applied Mechanics and Materials. 2015(792):375-378. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.792.37

ӘОЖ 697

Дастан А.М., Л.Н. Гумилев ат-ы ЕҰУ ИЖЖЖ-31 тобы студенті

Утепбергенова Л.М., т.ғ.к., Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ

СУЫҚ КЛИМАТ ЖАҒДАЙЫНДА ТҰРҒЫН ҮЙЛЕРГЕ АРНАЛҒАН ЖЫЛЫТУ ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ ЭНЕРГИЯ ТИІМДІ ИНЖЕНЕРЛІК ШЕШІМДЕРІНІҢ САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУЫ

Мақалада Қазақстанның суық климат жағдайындағы тұрғын үйлерге арналған заманауи жылыту жүйелерінің инженерлік шешімдері талданады. Жеке қазандықтар, жылу сорғылары, бесінші буын орталықтандырылған жылумен жабдықтау жүйелері (5GDHC) және ғимараттарды жылуоқшаулау шаралары қарастырылады. Талдау халықаралық әдебиеттерге, соның ішінде Халықаралық энергетикалық агенттік, MDPI және Дүниежүзілік банк деректеріне негізделген. Нәтижесінде, энергия тиімділігін арттыру тек жаңа технологияларды енгізу арқылы емес, сонымен қатар сапалы жылуоқшаулау мен жылу желілерін жаңартуды қатар жүргізу арқылы мүмкін екені көрсетіледі.

Түйін сөздер: жылыту, суық климат, энергия тиімділігі, жылу сорғылары, жеке қазандықтар, 5GDHC, жылуоқшаулау, орталықтандырылған жылумен жабдықтау, Қазақстан.

В статье рассматриваются современные инженерные решения систем отопления жилых зданий в холодном климате Казахстана. Проанализированы индивидуальные котлы, тепловые насосы, системы централизованного теплоснабжения пятого поколения (5GDHC), а также меры по теплоизоляции зданий. Исследование основано на анализе международных источников, включая данные Международного энергетического агентства, MDPI и Всемирного банка. Показана, что повышение энергоэффективности возможно только при комплексном подходе, сочетающем современные технологии отопления, качественную теплоизоляцию и модернизацию тепловых сетей.

Ключевые слова: системы отопления, холодный климат, энергоэффективность, тепловые насосы, индивидуальные котлы, 5GDHC, теплоизоляция, централизованное теплоснабжение, Казахстан.

The article analyzes modern engineering solutions for heating systems in residential building under Kazakhstan's cold climate conditions. It examines individual boilers, heat pumps, fifth-generation district heating and cooling systems (5GDHC), and building insulation measures. The study is based on a review of international literature, including data from the International Energy Agency, MDPI, and the World Bank. The results show that improving energy efficiency requires a comprehensive approach that combines advanced heating technologies with high-quality insulation and the modernization of district heating infrastructure.

Keywords: heats systems, cold climate, energy efficiency, heat pumps, individual boilers, 5GDHC, thermal insulation, district heartening, Kazakhstan.

Қазақстандағы көпқабатты және жеке үйлерде жылыту үшін ең кең таралған әдіс – жеке газ және электр қазандықтары. Олар жоғары автономдық беріп, әр пәтерде температураны жеке реттеуге мүмкіндік береді. Бірақ ескі қазандықтардың тиімділігі көбіне 70-80%-дан аспайды, бұл энергия шығыны мен пайдалану шығындарының артуына әкеледі [1].

Заманауи конденсациялық қазандықтар ПӘК-ті 95%-ға дейін арттырып, газ шығыны мен CO₂ бөлінуін азайтады, Алайда олардың кең таралуына жабдықтардың қымбаттығы мен газ желілерін жаңарту қажеттігі кедергі келтіреді. Суық климатта маусымдық жүктеменің жоғары болуы температураны дәл реттеуді аса маңызды етеді [5].

Суық климатта энергия тиімділігін арттыру үшін пәтераралық жылыту жүйелері тиімді шешім болып табылады. Олар әр пәтерде температураны жеке реттеуге мүмкіндік беріп, жылу шығыны азайған заманауи үйлерде дәстүрлі жоғары температуралы жүйелердің тиімсіздігін жояды [7].

Мұндай жүйелер жылу тұтынуды 10-15%-ға, ал тұрғындар болмаған кезде температураны төмендету арқылы 20-30%-ға дейін қысқартуға мүмкіндік береді. Сондықтан олар орталықтандырылған төмен температуралы жүйелер арасындағы аралық тиімді шешім ретінде қарастырылады [7].

Жылу сорғылары насостар (ауадан-суға, геотермалды) дәстүрлі қазандықтарға балама болып келеді. Олар COP 3-4 көрсеткішімен жұмыс істеп, 1 кВт электр энергиясына 3-4 кВт жылу береді. Қазандықтарда олардың кеңінен қолданылуына қымбат бағасы, білікті мамандар тапшылығы және қатты қысқа бейімделу қажеттілігі кедергі болып тұр [2].

Дегенмен, жылу сорғыларды күн коллекторлары мен ғимараттарды окшаулауымен біріктіру энергия шығынын және парниктік газдардың шығарындарын айтарлықтай азайтуға мүмкіндік береді [3].

Суық климат жағдайында жылу сорғыларын тиімді пайдалану үшін оларды гибриді жылу пункттермен біріктіру ұсынылады. Электркотелдер мен жылу аккумуляторлары күндізгі және түнгі энергия жүктемесін теңгеруге мүмкіндік береді. Автоматты басқару жүйелері температураны бақылап, энергия шығынын азайтады [6].

Бесінші буын орталықтандырылған жылу жүйелері (5) төмен температуралы желілерді пайдаланып, қайта қалпына келетін энергия мен артық жылуды интеграциялайды, желідегі шығындарды 5-8% дейін төмендетеді және CO₂ шығындарын 70% азайтады.

Термомодернизация – қабырғаларды төбелерді, шатырларды және терезелерді оқшаулау арқылы жылу шығынын 20-50% азайтады, ішкі температураны тұрақты етіп, конденсат қаупін азайтады және жылу сорғылары мен төмен температуралы желілердің тиімділігін арттырады.

Қорытындылай келе, жылу сорғылары, гибридті жылу сорғылары, гибридті жылу пункттері, автоматтандырылған басқару және жылу оқшаулау біріктірілгенде тұрғын үйлердің энергия тиімділігі жылу экологиялық көрсеткіштері айтарлықтай жақсарады.

Суық климатта жылу сорғылары гибридті жүйелермен біріктіріліп, энергияны тиімді пайдалануға мүмкіндік береді. Автоматты басқару жүйесі және төмен температуралы желілер шығынды азайтып, шығындарды төмендетеді. Жылу оқшаулау ғимараттың жылу үнемдеуін арттырып, жайлылық жақсартады

1-кесте – Суық климат жағдайында тұрғын үйлердің жылыту жүйелерінің энергия тиімді инженерлік шешімдерінің салыстырмалы талдауы

Инженерлік шешімдер	Энергетикалық эффективті	Энергияны бірлікке тұтыну	Энергияны тұтынуды азайту потенциалы	Экологиялық эффект	Сілтеме
Гибридті пункттері (ЖС электроқазандық + жылу аккумуляторы)	Шындық жүктемені 30% дейін азайту	90-130 кВт·сағ/м ² ·жыл	35-50%	Режимдерді оңайландыру арқылы азайту	[6]
5-ші буын жылу жүйелері (5)	Желінің температурасы 10-30°C, COP жүйелер 5-ке дейін	50-80 кВт·сағ/м ² ·жыл	60-70%	CO ₂ шығарындыларын барынша азайту	[4], [5]
Кешенді жылу оқшаулау	Жылу жоғалтуды 20-50% азайту	120-160 кВт·сағ/м ² ·жылға дейін азайту	20-50%	Жанама түрде азайту	[3], [5]
Дәстүрлі жеке газ қазандықтары	ПӘК 0,70-0,80	200-240 кВт·сағ/м ² ·жыл	Жаңғыру кезінде 10-20%	Газ және көмір қолданғанда CO ₂ шығарындылары жоғары	[1], [5]
Конденсациялық газ қазандықтары	ПӘК 0,95-ке дейін COP	160-190 кВт·сағ/м ² ·жыл	Дәстүрлі қазандықтармен салыстырғанда 20-30% төмен	CO ₂ шығарындыларынан 15-25%-ға төмен	[1], [5]
Жылу сорғылары (ауа-су)	COP 2,5-3,5	70-110 кВт·сағ/м ² жыл (электр энергиясына шаққанда)	40-60%	«Таза» электр энергиясы болған жағдайда шығарындылар төмен	[2], [3], [5]
Жылу сорғылары (су-су, геотермалық)	COP 3,5-4,5	60-90 кВт·сағ/м ² жыл	50-65%	CO ₂ шығарындылары минималды	[2], [3]
Орталықтандырылған жылумен жабдықтау (дәстүрлі)	Жылу көзінің ПӘК 0,75-0,85	180-220 кВт·сағ/м ² ·жыл	Жаңару кезінде 15-25%	Желідегі шығындар мен шығарындылар айтарлықтай	[1], [5]

Кестедегі деректер IEA, World Bank есептері мен MDPI жариялымдарына негізделген. Тиімділік ПӘК немесе COP арқылы, ал энергия тұтыну $1 \text{ м}^2/\text{жыл}$ бойынша көрсетілген.

Суық климатқа тұрғын үйлердің энергия тиімділігін арттыру – инженерлік, сәулеттік және басқарушылық шешімдерді біріктіретін кешенді міндет. Жеке жылыту жүйелері, гибриді жылу пункттері және интеллектуалды басқару энергия тұтынуды азайтып, жүйенің икемділігін арттырады.

Жалпы ең тиімді бағыт – қолданыстағы жүйелерді кезең-кезеңімен жаңғырту, жылу оқшаулауды күшейту, төмен температуралы желілер мен жаңғыртылатын энергия көздерін енгізу. Бұл энергия шығынын және пайдалану шығындарын айтарлықтай төмендетуге мүмкіндік береді.

Әдебиеттер:

1. IEA. Clean Household Energy Consumption in Kazakhstan: A Roadmap International Energy Agency.
2. IEA. The Future of Heat Pumps. International Energy Agency. MDPI. Tukhtamishova A. Optimization of the Thermal Insulation Level of Residential Buildings, 2020
3. MDPI / Energies. CHicherin S. et al. The First Fifth-Generation District Heating and Cooling (5GDHC), 2024
4. World Bank. Greening Space Heating in Europe and Central Asia, 2023.
5. Седнин, А.В. Энергоэффективность применения гибридных тепловых сетей городских микрорайонов. Часть 1: Обоснование целесообразности применения гибридных тепловых пунктов / А.В. Седнин, М. И. Позднякова // Энергетика. Изв. Высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2023. – Т. 66. – С. 552-566.
6. Шавикова Н.В. Пәтерлік жылыту жүйелерінің заманауи түрлері // Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің ғылыми жарияланымдар материалдары, Астана
7. Шелухин Д.О. Инженерные системы «интеллектуальных зданий» // Научные труды. ГОУ ВПО «МГУС», Москва.
8. UNECE. Country Profile on Housing and Land Management Kazakhstan. United Nations Economic Commission for Europe, Geneva, 2018

ӘОЖ 697. 921.47

Мадиярбек Д.М., Тұрғын және қоғамдық ғимараттар сәулеті 6B07317/22-1 тобы студенті, Қазақ Ұлттық су шаруашылығы және ирригация университеті (ҚҰСШЖИУ), Тараз

Ноғайбекова М.Т., аға оқытушы, Қазақ Ұлттық су шаруашылығы және ирригация университеті (ҚҰСШЖИУ), Тараз

Серік Ғ., аға оқытушы, Қазақ Ұлттық су шаруашылығы және ирригация университеті (ҚҰСШЖИУ), Тараз

ПАРИЖ ҚАЛАСЫНДАҒЫ ЖОРЖ ПОМПИДУ ӨНЕР ОРТАЛЫҒЫНЫҢ ЖЕЛДЕТУ ЖӘНЕ ЖЫЛУ ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ ИННОВАЦИЯЛЫҚ ШЕШІМДЕРІ

Мақалада XX ғасыр сәулетінің бірегей туындысы – Жорж Помпиду орталығының инженерлік жүйелері қарастырылған. «Хай-тек» стиліндегі ғимараттың желдету (көк құбырлар) және жылу (жасыл құбырлар) кешендерінің функционалдық қызметін және олардың сәулеттік шешіммен байланысын талдау жүргізілді. Коммуникацияларды ғимараттың сыртына шығару арқылы ішкі еркін кеңістікті қалыптастыру технологиясы, мұражай ішіндегі микроклиматты сақтау ерекшеліктері және ашық инженерлік жүйелерге техникалық қызмет көрсету мәселелері баяндалған.

Түйін сөздер: хай-тек, Помпиду орталығы, желдету жүйесі, жылу құбырлары, инженерлік коммуникациялар, микроклимат, функционализм.

В статье рассматриваются инженерные системы Центра Жоржа Помпиду, уникального произведения архитектуры XX века. Анализируется функциональная роль вентиляционного (синие трубы) и отопительного (зеленые трубы) комплексов здания в стиле «хай-тек» и их взаимосвязь с архитектурным решением. Описываются технология формирования внутреннего свободного пространства путем вывода коммуникаций за пределы здания, особенности поддержания микроклимата внутри музея и вопросы технического обслуживания открытых инженерных систем.

Ключевые слова: хай-тек, Центр Помпиду, вентиляционная система, тепловые трубы, инженерные коммуникации, микроклимат, функционализм.

The article examines the engineering systems of the Georges Pompidou Center, a unique work of 20th-century architecture. The functional function of the ventilation (blue pipes) and heating (green pipes) complexes of the "high-tech" style building and their relationship with the architectural solution are analyzed. The technology of forming internal free space by bringing communications outside the building, the features of maintaining the microclimate inside the museum, and the issues of technical maintenance of open engineering systems are described.

Keywords: high-tech, Pompidou Center, ventilation system, heat pipes, engineering communications, microclimate, functionalism.

XX ғасырдың екінші жартысы әлемдік сәулет өнері үшін үлкен бетбұрыстар кезеңі болды. Классикалық формалардан бас тартып, функционалдылық пен технологияны алдыңғы қатарға шығарған жаңа бағыттар пайда болды. Осы қозғалыстың ең жарқын және символдық нысаны – Париждегі Жорж Помпиду атындағы Ұлттық өнер және мәдениет орталығы. Бұл ғимарат тек өнер ордасы ғана емес, ол инженерлік ойдың шекарасын кеңейткен бірегей технологиялық кешен. Бүгінгі таңда заманауи сәулет өнерінде энергия тиімділігі мен коммуникацияларды басқару мәселесі бірінші орында тұрғанда, Помпиду орталығының желдету және жылу жүйелерін зерттеу өте өзекті болып табылады. Ол – инженерлік желілерді жасырудың орнына, оны эстетикалық нысанға айналдырудың алғашқы әрі ең сәтті тәжірибесі. Ренцо Пианоның 'Logbook' еңбегінде атап өткендей, Помпиду орталығының негізгі мақсаты – мұражайды қатып қалған ғимарат емес, үнемі өзгеріп тұратын 'өнер машинасы' ретінде көрсету болды (Piano, 1997) [1].

Зерттеудің негізгі нысаны – Париж қаласындағы Бобур ауданында орналасқан Жорж Помпиду орталығының экстерьеріне шығарылған инженерлік коммуникациялар кешені. Атап айтқанда, ғимараттың «тыныс алу» және «жылу алмасу» процестерін қамтамасыз ететін көк және жасыл түсті құбырлар жүйесі.

Антуан Пикон өзінің зерттеуінде Помпиду орталығының құрылысын «инженерлік дәлдік пен сәулеттік еркіндіктің тоғысуы» деп атайды. Ол сыртқы құбырлар жүйесінің тек функционалды емес, сонымен қатар ғимараттың беріктік қаңқасымен қалай байланысқанын сипаттайды (Picon, 2007) [2].

Помпиду орталығының желдету және жылу жүйелерінің құрылымдық ерекшеліктерін, олардың функционалдық қызметін және сәулеттік шешіммен байланысын талдау. Осы мақсатқа жету үшін келесі міндеттер қойылды:

- 1) Ғимараттың «хай-тек» стиліндегі концепциясын және оның инженерлік негіздерін зерделеу;
- 2) Желдету жүйесінің (көк құбырлар) техникалық сипаттамасын және мұражай ішіндегі микроклиматты сақтаудағы рөлін анықтау;
- 3) Жылу және сумен жабдықтау желілерінің (жасыл құбырлар) орналасу және жұмыс істеу принциптерін қарастыру;

4) Инженерлік жүйелерді ғимараттың сыртына шығарудың практикалық артықшылықтары мен техникалық қиындықтарына баға беру.

Помпиду орталығы салынғанға дейін инженерлік желілер ғимараттың «кірпіш қабырғаларының» артына жасырылатын «көрінбейтін» элементтер саналатын. Ренцо Пиано мен Ричард Роджерс бұл түсінікті түбегейлі өзгертті. Олар желдету шахталары мен жылу құбырларын қалалық ландшафттың ажырамас бөлігіне айналдырды. Бұл рефератта аталған жүйелердің тек көркемдік жағы ғана емес, сонымен қатар үлкен экспозициялық кеңістіктерді (залы жоқ ашық қабаттарды) инженерлік тұрғыдан қалай қамтамасыз ететіні тереңірек қарастырылады [2].

Жұмыс барысында сипаттамалық, жүйелілік және техникалық-конструкциялық талдау әдістері қолданылды. Сәулетшілердің естеліктері, инженерлік сызбалар мен қазіргі заманғы техникалық мониторинг деректері негізге алынды.

Бұл кіріспе бөлімі оқырманды ғимараттың күрделі әлеміне жетелеп, оның неліктен «инженерлік өнердің шыңы» деп аталатынын түсіндіруге мүмкіндік береді.

Помпиду орталығының басты ерекшелігі – оның «ашықтығы». Сәулетшілердің мақсаты ішкі кеңістікті (шамамен 100 000 м²) барынша бос қалдыру болды. Ол үшін ғимараттың барлық «өмірлік маңызды мүшелері» – желдету шахталары, су құбырлары, лифтілер мен баспалдақтар сыртқы қасбетке орналастырылды. Бұл шешім ішкі залдағы кез келген қабырғаны жылжытуға, көрмелерді шектеусіз ұйымдастыруға мүмкіндік берді. Ғимараттың қаңқасы болаттан жасалған және барлық жүйелер қызметіне қарай халықаралық түс кодтарымен боялған [1].

Ғимараттың шығыс қасбетінде орналасқан алып көк түсті құбырлар – орталықтың «өкпесі». Бұл жүйе жай ғана желдеткіш емес, ол өте күрделі климаттық бақылау кешені. Сәулетшінің жазбаларына сүйенсек, желдету және жылу жүйелерін қасбетке шығару – ішкі кеңістікті 100% пайдалануға мүмкіндік беретін жалғыз техникалық шешім еді.

Функционалдығы: Мұражай экспонаттары (Пикассо, Матисс, Кандинский туындылары) температураның 1°C-қа ауытқуына немесе ылғалдылықтың өзгеруіне өте сезімтал. Көк құбырлар арқылы сырттан сорылған ауа алдымен сүзгіден өтеді, содан кейін қажетті температураға дейін жылытылып не салқындатылып, ішке айдалады.

Сильвердің зерттеуіне сүйенсек, Бобурдың желдету шахталары сол кезеңдегі ең ірі азаматтық инженерлік қондырғылардың бірі болды. Ол ғимараттың «технологиялық эстетикасын» қалыптастыруда басты рөл атқарды [4].

Ауа алмасу деңгейі: Помпиду орталығының жүйесі сағатына 700000-800000 текше метр ауа алмастыруға қауқарлы. Бұл келушілердің көптігіне қарамастан (күніне 25000-нан астам адам), ғимарат ішіндегі ауаның үнемі балғын болуын қамтамасыз етеді.

Дизайны: Сыртқа шығарылған желдету шахталарының диаметрі кей жерлерде 2 метрден асады. Бұл инженерлік шешім ғимаратқа өндірістік, футуристік сипат береді. Бәнем бойынша, Помпиду орталығы – бұл «қоршаған ортаны реттейтін машина». Мұндағы желдету және жылу құбырлары сәулеттің жасырын бөлшегі емес, оның негізгі форма түзуші элементіне айналған [5].

Жылу және су құбырлары ғимараттың сыртында жасыл түспен белгіленген.

Жылу алмасу: Париждің құбылмалы ауа райында (қыста суық, жазда ыстық) ғимараттың шыныланған үлкен ауданы жылуды тез жоғалтуы мүмкін еді. Сондықтан жылу жүйесі желдетумен біріктірілген. Жылытылған су құбырлары ғимараттың периметрі бойынша өтіп, ішкі температураны тұрақты 20-22°C деңгейінде ұстайды.

Энергияны басқару: сары түсті түтіктердің ішіндегі электр желілері бүкіл жылу сорғыларын (heat pumps) энергиямен қамтамасыз етеді. Бұл жүйелер 2000-жылдардағы жаңартудан кейін «ақылды ғимарат» технологиясына көшіріліп, энергия тұтынуды 30%-ға азайтты.

Инженерлік жүйелерді сыртқа шығарудың өз қиындықтары бар:

1) коррозия: Париждің жаңбырлы климаты мен қалалық түтін ашық тұрған металл құбырларға зиян келтіреді. Сондықтан ғимаратты әр 10-15 жыл сайын толық бояп, құбырлардың бүтіндігін тексеру қажет. Бұл өте қымбат жұмыс;

2) оқшаулау: қыста құбырлардағы судың қатып қалмауы үшін олардың ішіне арнайы жылу оқшаулағыш материалдар салынған және кейбір тұстарында электрлік жылыту кабелдері жүргізілген.

Жорж Помпиду атындағы Ұлттық өнер және мәдениет орталығының инженерлік жүйелерін зерттеу барысында біз XX ғасыр сәулетіндегі ең батыл эксперименттердің біріне куә болдық. Бұл ғимарат – тек қабырғалар мен шатырдан тұратын құрылыс емес, ол үздіксіз жұмыс істеп тұрған, «тыныс алатын» және «жылу тарататын» тірі ағза іспетті. Инженерлік коммуникацияларды – желдету шахталарын, жылу құбырларын және электр желілерін ғимараттың қасбетіне шығару туралы шешім сәулет өнеріндегі функционализм мен эстетиканың арақатынасын мәңгіге өзгертті.

Инженерлік шешімдердің маңыздылығы. Жүргізілген талдау көрсеткендей, көк түсті желдету жүйесі мен жасыл түсті жылу кешені тек сәндік қызмет атқармайды. Олар мұражай ішіндегі баға жетпес өнер туындыларын сақтау үшін қажетті микроклиматты (температура мен ылғалдылықты) миллиметрлік дәлдікпен бақылауға мүмкіндік береді. Орталықтың ішкі кеңістігінің бағандар мен техникалық кедергілерден толық арылуы – инженерлік желілерді сыртқа шығарудың басты стратегиялық жеңісі болды. Бұл еркіндік мұражайға кез келген ауқымдағы экспозицияларды шектеусіз ұйымдастыруға жол ашты.

Технологиялық және мәдени ықпалы. Помпиду орталығы өз уақытынан озып кеткен жоба болды. Ол салынған кезде көптеген сыншылар оны «өндірістік зауыт» деп айыптағанымен, уақыт өте келе бұл инженерлік шешімдер «хай-тек» стилінің классикасына айналды. Ғимараттың ашық коммуникациялары-қазіргі заманғы «ақылды ғимараттар» мен энергия тиімділігі жоғары құрылыстардың бастауы болып табылады. Ондағы түстер арқылы кодталған инженерлік жүйелер келушілерге ғимараттың қалай жұмыс істейтінін көрсететін ашық техникалық энциклопедия іспеттес.

Ричард Роджерстің «Architecture: A Modern View» еңбегінде атап өткендей, заманауи ғимарат – бұл динамикалық жүйе, ол қоршаған ортамен үздіксіз энергия және ауа алмасу процесінде болуы тиіс (Rogers, 1991) [3].

Бүгінгі таңда Париждің символына айналған бұл «технологиялық мұражай» болашақ инженерлер мен сәулетшілер үшін адам мен технологияның үндестігін көрсететін басты нысан болып қала бермек. Инженерлік жүйелердің мұндай ашықтығы мен функционалдығы – заманауи урбанистика мен құрылыс саласындағы ең бағалы тәжірибелердің бірі.

Роджерс 1991 жылдың өзінде-ақ сәулет өнерінің экологиялық және технологиялық тұрғыдан ашық болуын насихаттады, бұл бүгінгі «ақылды қала» концепциясының негізі болды [3].

Жорж Помпиду орталығының желдету және жылу жүйелері – инженерлік шеберлік пен сәулеттік батылдықтың симбиозы. Бұл нысан инженерлік желілерді жасырудың қажеті жоқтығын, керісінше, оларды дұрыс жобалау арқылы жоғары өнер деңгейіне көтеруге болатынын дәлелдеді.

Бәнемнің теориясы Помпиду орталығының хай-тек стиліндегі орнын айқындап берді: ғимарат ендігі жерде пассивті нысан емес, технологиялық тұрғыдан белсенді қызмет ететін жүйе (well-tempered environment) болып табылады [5].

Әдебиеттер:

1. Piano, R. Logbook. – London: Thames & Hudson, 1997. [<https://stereo.ru/news/the-art-of-sound>]
2. Picon, A. Centre Pompidou: Construction and Contemporary Architecture. – Paris: Éditions du Centre Pompidou, 2007. [<https://boutique.centrepompidou.fr/en/>]
3. Rogers, R. Architecture: A Modern View. – New York: Thames & Hudson, 1991. [<https://www.rshp.com/projects/culture-and-leisure/centre-pompidou/>]
4. Silver, N. The Making of Beaubourg: A Building Biography of the Centre Pompidou. – Cambridge: MIT Press, 1994. [<https://www.google.com/search?q=https://mitpress.mit.edu/9780262691635/the-making-of-beaubourg/>]
5. Banham, R. The Architecture of the Well-tempered Environment. – Chicago: University of Chicago Press, 1984. [<https://www.google.com/search?q=https://press.uchicago.edu/ucp/books/book/chicago/A/bo3644061.html>]

УДК 697.34

Оразғалиева А.С., ст. гр. ТГВ 23-1, МОК (КазГАСА)
Алдабергенова Г.Б., ассоц. проф. МОК (КазГАСА)

ПЕРСПЕКТИВЫ ИНТЕГРАЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМЫ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА

В данной статье рассматриваются современные технологические решения для декарбонизации систем централизованного теплоснабжения. Особое внимание уделено переходу к низкотемпературным сетям и внедрению модульных котельных на биомассе как способу снижения антропогенного воздействия на экологию городов. Перспективы использования модульных котельных на биомассе как инструмента декарбонизации городских систем теплоснабжения. Обоснована актуальность перехода на возобновляемые источники энергии для снижения выбросов CO₂ в условиях урбанизации.

Ключевые слова: централизованное теплоснабжение, углеродный след, биомасса, модульные котельные, четвертое поколение теплоснабжения, энергоэффективность.

Бұл мақалада орталықтандырылған жылумен жабдықтау жүйелерін декарбонизациялауға арналған заманауи технологиялық шешімдер қарастырылады. Төмен температуралы желілерге көшуге және қалалардың экологиясына антропогендік әсерді азайту тәсілі ретінде биомассадағы модульдік қазандықтарды енгізуге ерекше назар аударылады. Қалалық жылумен жабдықтау жүйелерін декарбонизациялау құралы ретінде биомассадағы модульдік қазандықтарды пайдалану перспективалары қарастырылады. Урбанизация жағдайында CO₂ шығарындыларын азайту үшін жаңартылатын энергия көздеріне көшудің өзектілігі негізделген.

Түйін сөздер: орталықтандырылған жылумен жабдықтау, көміртек ізі, биомасса, модульдік қазандықтар, жылумен жабдықтаудың төртінші буыны, энергия тиімділігі.

This article examines modern technological solutions for decarbonizing district heating systems. Particular attention is paid to the transition to low-temperature networks and the introduction of modular biomass boiler plants as a way to reduce the anthropogenic impact on urban ecology. The article also explores the potential of modular biomass boiler plants as a tool for decarbonizing urban heating systems. The relevance of switching to renewable energy sources to reduce CO₂ emissions in the context of urbanization is substantiated.

Keywords: district heating, carbon footprint, biomass, modular boilers, fourth generation of heat supply, energy efficiency.

Сокращение выбросов углекислого газа и переход к низкоуглеродной экономике являются приоритетными задачами современной мировой энергетики и инженерной науки. В условиях глобального изменения климата Республика Казахстан, в соответствии с международными обязательствами, стремится к достижению углеродной нейтральности к 2060 году.

Сектор теплоснабжения, являясь одним из наиболее энергоемких направлений энергетики, обладает значительным потенциалом для декарбонизации за счёт внедрения инновационных инженерных решений.

Ключевым направлением данной трансформации является переход к системам теплоснабжения четвёртого поколения (4GDH – *Fourth Generation District Heating*). Основной особенностью данной технологии является снижение температуры теплоносителя в подающей магистрали до 55–70 °С. Это позволяет не только уменьшить тепловые потери при транспортировке, но и обеспечить возможность интеграции низкопотенциальных источников тепла, ранее рассеиваемого в окружающей среде.

Для крупных городов Казахстана, и особенно для города Алматы, внедрение подобных решений имеет стратегическое значение. С учётом климатических особенностей региона, включая температурные инверсии и высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха, экологический мониторинг и соблюдение действующих нормативов Республики Казахстан в области энергоэффективности (СН РК и СП РК) являются обязательными требованиями при проектировании систем теплоснабжения.

Дополнительно рассматривается внедрение модульных котельных установок, работающих на альтернативных видах топлива, как эффективного инструмента снижения антропогенной нагрузки на окружающую среду при сохранении высокой надёжности теплоснабжения потребителей [2].

2. Технологические решения для модернизации систем централизованного теплоснабжения (СЦТ)

Сокращение выбросов углекислого газа в энергетическом секторе является одной из ключевых задач современной инженерной науки. Системы централизованного теплоснабжения (СЦТ), являясь крупными потребителями ископаемого топлива, обладают значительным потенциалом для повышения энергоэффективности и снижения экологического воздействия.

Интеграция ИТП и БТП: внедрение индивидуальных (ИТП) и блочных тепловых пунктов (БТП) позволяет обеспечить автоматическое регулирование теплопотребления в зависимости от погодных условий. Это исключает режимы избыточного отопления («перетопы») и обеспечивает снижение расхода топлива на 15–20%.

Переход к системам 4GDH: концепция теплоснабжения четвёртого поколения (4GDH) основана на снижении температуры теплоносителя в подающей магистрали до 55–70 °С. Это позволяет:

- сократить тепловые потери в сетях на 20–25%;
- повысить эффективность эксплуатации трубопроводов;
- обеспечить интеграцию возобновляемых и низкопотенциальных источников энергии, что особенно актуально для южных регионов Казахстана с высоким уровнем солнечной радиации [6].

Энергетические и технологические преимущества.

Снижение тепловых потерь: уменьшение температурного градиента между теплоносителем и окружающим грунтом снижает уровень теплопередачи.

Использование низкопотенциального тепла: параметры 4GDH позволяют интегрировать тепловые насосы, использующие тепло сточных вод, грунта и вторичных источников энергии.

Экологический мониторинг и нормативное регулирование:

Соблюдение СН и СП РК: проектирование систем должно соответствовать действующим государственным нормативам в области энергоэффективности зданий и инженерных сетей.

Снижение выбросов: при использовании модульных котельных на биомассе обязательным является применение современных систем очистки дымовых газов (циклонов, фильтров и электрофильтров) для минимизации загрязнения атмосферного воздуха.

Роль СЦТ в концепции «умного города»: Системы централизованного теплоснабжения становятся элементом городской цифровой и энергетической инфраструктуры Smart City. В рамках данной концепции потребители могут выступать не только как потребители, но и как поставщики тепловой энергии (например, за счёт утилизации сбросного тепла серверных помещений или крупных коммерческих объектов). Это способствует снижению углеродного следа и повышению устойчивости городской энергетической системы [1].

3. Сравнительный анализ модульных котельных установок (МКУ) на биомассе и биогазе

Интеграция возобновляемых источников энергии в системы централизованного теплоснабжения может быть реализована посредством различных технологических решений. Наиболее перспективными для модульного исполнения являются котельные установки на твёрдой биомассе (пеллеты, древесная щепа) и биогазовые котельные установки (МКУ-БГ).

Сравнительный анализ указанных технологий приведён в *таблице 1*.

Таблица 1 – Сравнительный анализ модульных котельных установок (МКУ) на биомассе и биогазе

Параметр	МКУ на твердой биомассе (пеллеты/щепа)	МКУ на биогазе
Источник энергии	Отходы деревообработки, пеллеты, солома.	Продукты брожения органических отходов, навоза, очистных сооружений.
Логистика	Требуется наличие сухого склада и регулярный подвоз топлива.	Эффективно при наличии постоянного источника биоотходов на месте (например, очистные сооружения города).
Экологический след	Низкий (CO ₂ -нейтральность). Требуется очистка от твердых частиц.	Минимальный. Позволяет утилизировать метан, который является агрессивным парниковым газом.
Регулирование	Инерционность при розжиге и гашении котла.	Высокая маневренность, аналогичная природному газу.

4. Анализ возможности внедрения предлагаемых решений в инфраструктуру Республики Казахстан.

Реализация концепции низкоуглеродного теплоснабжения в Республике Казахстан требует учёта климатических особенностей региона, а также текущего технического состояния инженерной инфраструктуры. Согласно Стратегии достижения углеродной нейтральности Республики Казахстан до 2060 года, модернизация систем централизо-

ванного теплоснабжения (СЦТ) рассматривается как одно из приоритетных направлений энергетической политики [5].

Внедрение технологий четвёртого поколения теплоснабжения (4GDH) в условиях Казахстана представляется наиболее перспективным при строительстве новых жилых районов и комплексной застройке территорий. Современные строительные нормы, включая СН РК 4.02-01-2011 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха», уже ориентируют проектировщиков на применение энергоэффективного оборудования, автоматизированных систем управления и ресурсосберегающих технологий.

Основным ограничением для внедрения 4GDH в существующем жилом фонде является высокая инерционность действующих систем теплоснабжения, рассчитанных на температурный график 105/70 °С. Данные системы требуют значительной реконструкции для перехода к низкотемпературным режимам работы.

В то же время внедрение блочных тепловых пунктов (БТП) с погод зависимым регулированием позволяет частично адаптировать существующую инфраструктуру к более низким температурам теплоносителя. Это обеспечивает снижение теплопотребления и исключение режимов избыточного отопления («перетопов») в переходные периоды отопительного сезона.

Для научного обоснования перехода к низкоуглеродному теплоснабжению в Республике Казахстан необходимо провести сравнительный анализ технических характеристик систем третьего поколения (3GDH) и перспективных систем четвёртого поколения (4GDH). На рисунке 1 представлена общепринятая международная классификация поколений систем централизованного теплоснабжения, адаптируемая к условиям Республики Казахстан. Сравнительная схема температурных режимов и архитектуры подключения потребителей также приведена на рисунке 1 [6].

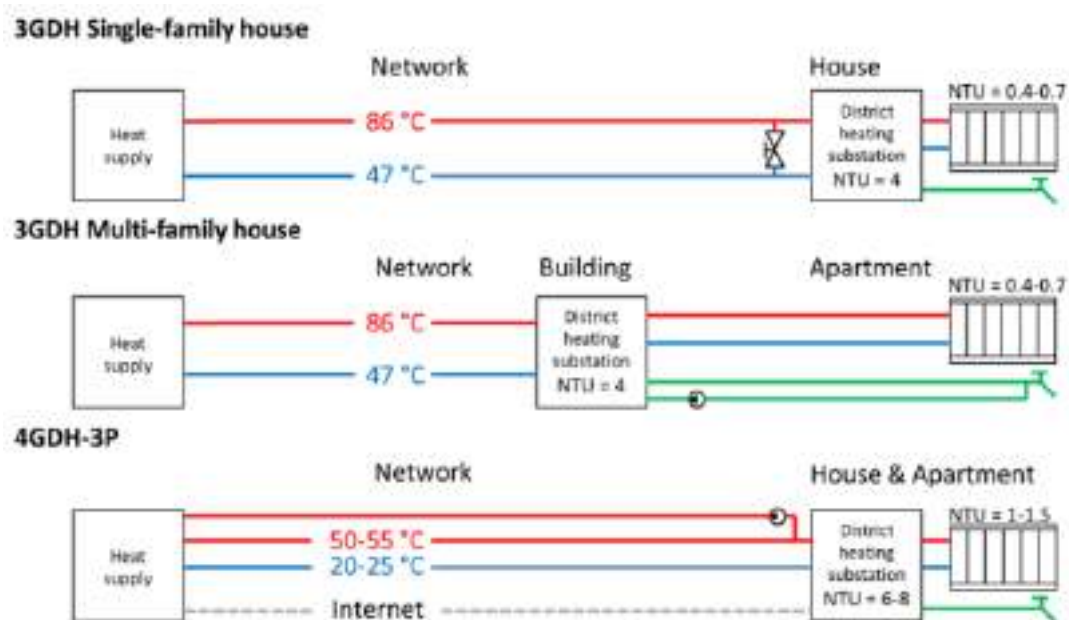


Рисунок 1 – Сравнительная характеристика схем теплоснабжения 3-го (3GDH) и 4-го (4GDH) поколений для жилого сектора.

На представленной схеме (рис. 1) отражены ключевые отличия, которые определяют потенциал внедрения технологий в инфраструктуру РК:

Температурный график: В традиционных системах (3GDH), преобладающих в текущей застройке Казахстана, температура подачи составляет около 86°C, а обратной магистрали – 47°C. Предлагаемая модель 4GDH-3P (трехтрубная система) предполагает снижение температуры подачи до 50-55°C и обратной воды до 20-25°C. Это существенно снижает градиент температур между трубопроводом и окружающей средой, минимизируя тепловые потери в сетях.

Эффективность теплообмена: на схеме показано увеличение безразмерной характеристики теплопередачи (NTU) с 4 до 6–8 для тепловых пунктов и до 1–1.5 для радиаторов. Это доказывает, что при низких температурах теплоносителя требуются более эффективные поверхности теплообмена, что необходимо учитывать при термомодернизации жилого фонда РК согласно актуальным строительным нормам [6].

В ходе проведенного исследования были проанализированы перспективы интеграции современных технологий в системы централизованного теплоснабжения (СЦТ) с целью снижения углеродного следа. Переход к четвертому поколению теплоснабжения (4GDH) с понижением температуры теплоносителя является технически обоснованным шагом для снижения тепловых потерь в сетях и повышения общей энергоэффективности системы. Внедрение модульных котельных установок (МКУ) позволяет оперативно модернизировать локальные участки тепловых сетей. Сравнительный анализ показал, что для условий мегаполисов, таких как г. Алматы, наиболее экологически и экономически эффективным решением является использование биогазовых МКУ, которые позволяют утилизировать органические отходы и минимизировать выбросы твердых частиц в атмосферу. Реализация предложенных решений в Республике Казахстан должна опираться на действующую нормативную базу (СН РК и СП РК) и сопровождаться повсеместной установкой автоматизированных блочных тепловых пунктов (БТП). Это обеспечит необходимую гибкость системы в условиях резко континентального климата.

Таким образом, комплексная интеграция низкотемпературных сетей и возобновляемых источников энергии в инфраструктуру СЦТ позволит существенно сократить антропогенное воздействие на окружающую среду, способствуя реализации стратегии низкоуглеродного развития Казахстана и улучшению экологической ситуации в крупных городах.

Литература:

1. Тетиор А.Н. Городская экология / Учеб. пособие для студ. вузов. 3-е изд., стер. – М.: Академия, 2016. – 432 с.
2. СН РК 4.02-01-2011*. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – Астана: Комитет по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства Министерства промышленности и строительства РК, 2024.
3. СП РК 4.02-101-2012. Проектирование систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха зданий и сооружений. – Астана: КазНИИСА, 2012.
4. Закон Республики Казахстан «Об энергосбережении и повышении энергоэффективности» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 2024 г.).
5. Стратегия достижения углеродной нейтральности Республики Казахстан до 2060 года. Утверждена Указом Президента РК от 2 февраля 2023 года № 121.
6. Werner S. Fourth Generation of District Heating Technology. – Halmstad University, 4DH Research Centre, 2017.

Сағындықова Ә.Б., Тұрғын және қоғамдық ғимараттар сәулеті 6B07317/22-1 тобы студенті, Қазақ Ұлттық су шаруашылығы және ирригация университеті (ҚҰСШЖИУ), Тараз

Ногайбекова М.Т., аға оқытушы, Қазақ Ұлттық су шаруашылығы және ирригация университеті (ҚҰСШЖИУ), Тараз

ТАРАЗ ҚАЛАСЫНЫҢ СЫРТҚЫ ЖЫЛУ ЖЕЛІЛЕРІНІҢ ТЕХНИКАЛЫҚ ЖАҒДАЙЫ, МӘСЕЛЕЛЕРІ МЕН ЖАҢҒЫРТУ ЖОЛДАРЫ

Тараз қаласының сыртқы жылу жүйелерінің қазіргі техникалық сипаттамасы, құбырлардың тозу деңгейі және жылу жоғалту мәселелері қарастырылған. Қаланың жылу кешенінің тиімділігін талдау және энергия үнемдеуші технологияларды енгізу мүмкіндіктерін зерделеу. «Таразэнергоорталық» АҚ мен «Таразтрансэнерго» МКМ жұмысына шолу жасалып, жылу желілерін реконструкциялаудың маңызы негізделген.

Түйін сөздер: құбырлар тозуы, Тараз қаласы, энергия, жылу жүйесі, жабдықтау, оқшалау, коррозия.

В статье рассматриваются современные технические характеристики наружных систем отопления города Тараз, степень износа труб и проблемы теплопотерь. Анализ эффективности теплового комплекса города и изучение возможностей внедрения энергосберегающих технологий. Проводится обзор работы АО «Таразэнергоцентр» и ГКП «Таразтрансэнерго», обосновывается важность реконструкции тепловых сетей.

Ключевые слова: Износ труб, город Тараз, энергия, система отопления, снабжение, изоляция, коррозия.

The current technical characteristics of the external heating systems of the city of Taraz, the level of wear of pipes and the problems of heat loss are considered. The purpose of the work is to analyze the efficiency of the city's heating complex and study the possibilities of introducing energy-saving technologies. The work of Tarazenergoortalyk JSC and Taraztransenergo MCC is reviewed, and the importance of reconstructing heating networks is justified.

Keywords: pipe wear, Taraz city, energy, heating system, supply, insulation, corrosion.

Қазіргі заманғы урбанизация жағдайында қалалық инфрақұрылымның тұрақты жұмыс істеуі халықтың өмір сүру сапасының басты көрсеткіші болып табылады. Қазақстанның оңтүстік өңірінде орналасқан көне де заманауи шаһар Тараз қаласы үшін орталықтандырылған жылумен жабдықтау жүйесі стратегиялық маңызға ие. Тараздың климаттық ерекшеліктері, атап айтқанда, қыс айларындағы күрт суытулар мен Жамбыл облысына тән қатты желдер («Айша-бибі» желі), жылу жүйелерінің сенімділігіне жоғары талаптар қояды. Сыртқы жылу желілері – бұл тек құбырлар кешені емес, бұл қаланың тыныс-тіршілігін қамтамасыз ететін, мыңдаған тұрғын үйлерді, мектептерді, ауруханаларды және өндірістік нысандарды біртұтас энергетикалық кеңістікке біріктіретін күрделі инженерлік құрылым.

Өкінішке орай, Тараз қаласының жылу желілерінің басым бөлігі өткен ғасырдың 60-80 жылдарында салынғандықтан, бүгінгі таңда олардың физикалық және моральдық тозу деңгейі критикалық шекке жақындап отыр. Құбырлардың коррозияға ұшырауы, жылу оқшаулағыш материалдардың ескіруі және гидравликалық соққыларға төзімділіктің төмендеуі энергияның нормадан тыс шығынына әкеледі. Бұл мәселе тек экономикалық шығындарды ғана емес, сонымен қатар қоршаған ортаға түсетін эмиссиялық жүктемені де арттырады. Сондықтан сыртқы жылу жүйелерін жаңғырту, цифр-

ландыру және энергия үнемдеуші технологияларды енгізу – қала билігі мен энергетик мамандардың алдында тұрған кезек күттірмейтін міндет.

Тараз қаласының сыртқы жылу желілерінің ағымдағы жағдайына кешенді техникалық талдау жасау және оларды дамытудың басым бағыттарын анықтау. Осы мақсатқа жету үшін келесі міндеттер айқындалды:

1. Тараз қаласындағы орталықтандырылған жылу көздері мен желілердің құрылымын зерделеу;
2. Жылу тасымалдау кезіндегі энергия шығындарының негізгі себептерін анықтау;
3. Қазіргі заманғы ПИ-құбырлар мен пенополиуретанды оқшаулау технологияларының тиімділігін негіздеу;
4. Жүйені автоматтандыру (SCADA жүйелері) мен ақылды есептегіштерді енгізудің болашағын қарастыру.

Бұл жұмыс Тараз қаласының энергетикалық қауіпсіздігін қамтамасыз етудегі заманауи инженерлік шешімдердің рөлін ашуға бағытталған.

Тараз қаласындағы жылу жүйесі негізінен кеңестік кезеңде (1960-1980 жылдары) қалыптасқан. Қаланың жылу желілерінің жалпы ұзындығы 300 шақырымнан асады. Жүйе магистральдық және орамдық (квартал ішілік) желілерге бөлінеді.

Қаланы жылумен қамтудың «жүрегі» – «Таразэнергоорталық» АҚ (ЖЭО-4). Бұл кәсіпорын аралас циклде жұмыс істейді: электр энергиясын және жылуды бірге өндіреді (когенерация). Сондай-ақ, «РК-4» секілді ірі аудандық қазандықтар мен 50-ден астам шағын қазандықтар қаланың шалғай аудандарын жылумен қамтамасыз етеді.

Сыртқы желілер – бұл қазандықтан тұтынушыға дейінгі ыстық суды тасымалдайтын құбырлар кешені. Таразда негізінен екі құбырлы жүйе қолданылады:

1. *Беруші құбыр*: ыстық суды (температуралық кесте бойынша 95-130°C) тұтынушыға жеткізеді.
2. *Қайтушы құбыр*: суыған суды (40-70°C) қайтадан қазандыққа қыздыру үшін қайтарады.

Тараз қаласының ең басты мәселесі – жылу желілерінің 60-70%-дан астам тозуы.

• *Коррозия*: металл құбырлардың ішкі және сыртқы коррозияға ұшырауы апаттардың жиілеуіне әкеледі.

• *Оқшаулаудың бұзылуы*: ескі шыны талшықты (стекловата) оқшаулағыштар ылғал тартып, өзінің қасиетін жоғалтқан. Бұл қыс айларында жылудың «даланы жылытуына» себеп болады.

Қазіргі уақытта Таразда ескі металл құбырларды пенополиуретанмен (ППУ) алдын ала оқшауланған құбырларға (ПИ-құбырлар) ауыстыру жұмыстары жүруде. Бұл технология:

- жылу шығынын 25-30%-дан 2-3%-ға дейін азайтады;
- пайдалану мерзімін 30-50 жылға дейін ұзартады;
- желідегі апатты қашықтықтан бақылау жүйесін (ОДК) орнатуға мүмкіндік береді.

1. АҚЫЛДЫ ЖҮЙЕЛЕР МЕН ЖТП

Жүйені тиімді басқару үшін жеке жылу пунктерін (ЖТП) орнату маңызды. Олар ғимарат ішіндегі температураны сыртқы ауа райына байланысты автоматты түрде реттеп, тұрғындардың ақшасын үнемдеуге мүмкіндік береді. Тараз қаласындағы көпқабатты үйлерге жалпыүйлік жылу есептегіштерін орнату көрсеткіші жыл сайын артып келеді.

2. ЭКОЛОГИЯЛЫҚ АСПЕКТ

Жылу жүйесінің тиімділігін арттыру – жағылатын отын (газ, мазут) мөлшерін азайтады. Бұл Тараз қаласының ауа бассейніне шығатын зиянды қалдықтардың азаюына тікелей әсер етеді.

Тараз қаласының сыртқы жылу жүйелерін жан-жақты талдау нәтижесінде қаланың энергетикалық кешені үлкен трансформациялық кезеңде тұрғанын көреміз. Жұмыс барысында анықталғандай, орталықтандырылған жылу жүйесі – қала экономикасының ажырамас бөлігі, алайда оның тиімділігін арттыру үшін ескірген инфрақұрылымды жедел түрде жаңарту қажет. ЖЭО-4 («Таразэнергоорталық») мен қалалық қазандықтар өндіретін жылу энергиясының бір бөлігі тұтынушыға жеткенше тозған құбырлар мен нашар оқшаулаудың кесірінен қоршаған ортаға тарап кететіні дәлелденді.

Негізгі тұжырымдар мен ұсыныстар. Зерттеу барысында жасалған маңызды қорытындылардың бірі – жай ғана латау (жөндеу) жұмыстарынан толық реновациялауға көшу қажеттілігі.

- Біріншіден, алдын ала оқшауланған құбырларды (ПИ-құбырлар) қолдану жылу шығынын 25-30%-ға азайтып қана қоймай, желілердің қызмет ету мерзімін 50 жылға дейін ұзартады. Бұл болашақта жөндеу жұмыстарына жұмсалатын бюджет қаражатын едәуір үнемдеуге мүмкіндік береді.

- Екіншіден, қалалық жылу жүйесін цифрландыру, атап айтқанда, диспетчерлік бақылау мен қашықтықтан диагностикалау жүйелерін (ОДК) енгізу апаттарды ерте са-тыда анықтауға және олардың салдарын жылдам жоюға жағдай жасайды.

- Үшіншіден, тұтынушылар деңгейінде автоматтандырылған жылу пунктерін (АЖП) орнату – энергия үнемдеудің ең тиімді құралы екені анықталды. Бұл тұрғындардың жылу үшін төлемін оңтайландырып, жүйедегі гидравликалық теңгерімді сақтауға көмектеседі.

Тараз қаласының бас жоспарына сәйкес, жаңа мөлтек аудандардың салынуы жылу жүйесіне түсетін жүктемені арттыратыны сөзсіз. Сондықтан алдағы уақытта магистральдық желілердің өткізу қабілетін арттырумен қатар, жаңартылатын энергия көздері мен автономды жылу жүйелерін аралас қолдану мәселесін қарастыру қажет.

Қорыта айтқанда, Тараз қаласының сыртқы жылу жүйелерін жаңғырту – бұл тек техникалық модернизация емес, бұл халықтың әлеуметтік әл-ауқатын жақсартуға, қала экологиясын сақтауға және өңірдің тұрақты дамуын қамтамасыз етуге бағытталған мемлекеттік маңызы бар стратегиялық қадам. Инженерлік желілердің сапасы – Тараздың болашақтағы «ақылды қала» (Smart City) концепциясына өтуінің іргетасы болып қала бермек.

Әдебиеттер:

1. «Жылу энергетикасы туралы» Қазақстан Республикасының Заңы. 2024 жылғы 8 шілдедегі №118-VIII ҚРЗ. (Жылу жүйелерін пайдалану мен реттеудің құқықтық негіздері).
2. «Энергия үнемдеу және энергия тиімділігін арттыру туралы» Қазақстан Республикасының Заңы. 2012 жылғы 13 қаңтардағы № 541-IV.
3. ҚР Құрылыс нормалары және ережелері (ҚР ҚНЖЕ). «Жылу желілері» (СНиП 2.04.07-86 негізіндегі жаңартылған редакция). – Алматы: ҚазҚСҒЗИ, 2021.
4. Тараз қаласының 2025 жылға дейінгі даму стратегиясы. Жамбыл облысы әкімдігінің ресми құжаты. – Тараз, 2020. (Инфрақұрылымды жаңғырту бөлімі).
5. «Таразэнергоорталық» АҚ. Кәсіпорынның жылдық техникалық-экономикалық есептемесі (2023-2025 жж.). – Тараз, 2025.

6. «Таразтрансэнерго» МКК. Жылу желілерінің тозу деңгейі мен апаттылық жағдайы туралы ішкі мониторинг деректері. – Тараз, 2024.
7. Байпақов К. М. Тараз: Көне және заманауи қаланың сәулеттік ансамблі. – Алматы: Дидар, 2015. – 320 б. (Қаланың инженерлік тарихына қатысты мәліметтер).
8. Нұрпейісов С.А. Қазақстанның тұрғын үй-коммуналдық шаруашылығын жаңғырту: мәселелері мен шешу жолдары. – Астана: Экономика институты, 2022.

ӘОЖ 355.673.1

Саулебек Б.С, ХБК (ҚазБСҚА) ТГВ 23-1 тобы студ.
Алдабергенова Г.Б., ХБК (ҚазБСҚА) қауымд. проф.

ЖЫЛЫТУ ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ ПРОЦЕСТЕРДІ АВТОМАТТАНДЫРУ ЖӘНЕ ЦИФРЛАНДЫРУ

Бұл мақалада жылыту жүйелеріндегі процестерді автоматтандыру және цифрландыруға арналған заманауи технологиялық шешімдер қарастырылады. Жүйелердің тиімділігін арттыру мақсатында автоматтандырылған басқару жүйелерін, ақылды датчиктерді және қашықтан бақылау технологияларын енгізуге ерекше назар аударылады. Сонымен қатар, энергияны үнемдеу және жылу тұтынуды оңтайландыру мақсатында цифрлық технологияларды қолдану мүмкіндіктері талданады. Жылыту жүйелерін цифрландырудың Smart City тұжырымдамасындағы рөлі қарастырылып, экологиялық әсерді төмендету мен энергия тиімділігін арттырудағы маңыздылығы негізделеді.

Түйін сөздер: жылыту жүйесі, автоматтандыру, цифрландыру, энергия тиімділігі, ақылды жүйе, датчик, қашықтан басқару, Smart City.

В данной статье рассматриваются современные технологические решения по автоматизации и цифровизации процессов в системах отопления. Особое внимание уделено внедрению автоматизированных систем управления, интеллектуальных датчиков и технологий дистанционного мониторинга с целью повышения энергоэффективности. Также анализируются возможности применения цифровых технологий для оптимизации теплопотребления и снижения энергетических затрат. Рассматривается роль цифровизации систем отопления в концепции «умного города» и обосновывается ее значимость для повышения энергоэффективности и снижения негативного воздействия на окружающую среду.

Ключевые слова: система отопления, автоматизация, цифровизация, энергоэффективность, интеллектуальные системы, датчики, дистанционное управление, Smart City.

This article discusses modern technological solutions for the automation and digitalization of processes in heating systems. Special attention is paid to the implementation of automated control systems, smart sensors, and remote monitoring technologies to improve energy efficiency. The possibilities of using digital technologies to optimize heat consumption and reduce energy costs are also analyzed. The role of heating system digitalization within the Smart City concept is considered, and its importance for improving energy efficiency and reducing environmental impact is substantiated.

Keywords: heating system, automation, digitalization, energy efficiency, smart systems, sensors, remote control, Smart City.

Жылыту жүйелері ғимараттардың негізгі инженерлік жүйелерінің бірі болып табылады және олардың тиімді жұмыс істеуі ғимарат ішіндегі қолайлы микроклиматты қамтамасыз етеді. Қазіргі таңда энергия ресурстарының шектеулігі мен экологиялық мәселелердің күшеюіне байланысты жылыту жүйелерінің энергия тиімділігін арттыру өзекті мәселеге айналып отыр. Осыған байланысты жылыту жүйелеріндегі процестерді автоматтандыру және цифрландыру маңызды бағыттардың бірі болып табылады [1].

Автоматтандырылған басқару жүйелерін енгізу жылыту жүйесінің жұмыс параметрлерін нақты уақыт режимінде бақылауға және реттеуге мүмкіндік береді. Мұндай жүйелер температураны, қысымды және жылу тасымалдағыштың шығынын автоматты түрде реттеп, сыртқы және ішкі жағдайларға бейімделеді. Нәтижесінде артық жылу шығыны азайып, энергия ресурстары тиімді пайдаланылады.

Жылыту жүйелерінде ақылды датчиктерді қолдану жүйенің әртүрлі бөліктеріндегі параметрлерді үздіксіз өлшеуге мүмкіндік береді. Бұл деректер басқару құрылғыларына жіберіліп, жүйенің жұмысын оңтайландыруға жағдай жасайды. Сонымен қатар, қашықтан бақылау технологиялары арқылы жүйенің жұмысын интернет желісі арқылы бақылауға және басқаруға болады. Бұл операторларға немесе қызмет көрсетуші ұйымдарға жүйенің жағдайын кез келген уақытта бақылауға мүмкіндік береді [2].

Цифрлық технологияларды енгізу жылыту жүйелерінің тиімділігін арттыруға үлкен әсер етеді. Жиналған деректерді талдау арқылы жылу тұтынуды оңтайландыруға, энергия шығындарын азайтуға және жүйенің жұмысын жетілдіруге болады. Сонымен қатар, цифрландыру апаттық жағдайларды алдын ала анықтауға және олардың алдын алуға мүмкіндік береді.

Жылыту жүйелерін цифрландыру «ақылды қала» тұжырымдамасының маңызды элементтерінің бірі болып табылады. Smart City аясында барлық инженерлік жүйелер біртұтас цифрлық платформаға біріктіріліп, ресурстарды тиімді басқаруға мүмкіндік береді. Бұл жылу энергиясын үнемдеуге, қоршаған ортаға түсетін зиянды азайтуға және тұрғындардың өмір сүру сапасын арттыруға ықпал етеді.

Осылайша, жылыту жүйелеріндегі процестерді автоматтандыру және цифрландыру энергия тиімділігін арттырудың, жүйенің сенімді жұмысын қамтамасыз етудің және экологиялық әсерді төмендетудің маңызды құралдарының бірі болып табылады. Болашақта бұл технологияларды кеңінен енгізу инженерлік жүйелердің дамуының негізгі бағытына айналады [3].

Қазіргі уақытта жылыту жүйелерін автоматтандыру мен цифрландыруды дамыту бағытында жаңа технологиялар белсенді түрде енгізілуде. Солардың бірі – автоматтандырылған жылу пункттері болып табылады. Бұл жүйелер сыртқы ауа температурасына байланысты жылу беруді реттеп, ғимараттағы жылу жүктемесін тиімді басқаруға мүмкіндік береді. Мұндай тәсіл артық жылу беруді болдырмай, энергия шығынын айтарлықтай азайтады.

1. Жылыту жүйелерінде қолданылатын заманауи басқару жүйелері бағдарламаланатын логикалық контроллерлер (PLC) негізінде жұмыс істейді. Олар әртүрлі датчиктерден алынған ақпаратты өңдеп, атқарушы механизмдерге (клапандар, сорғылар) басқару сигналдарын жібереді. Бұл жүйелердің артықшылығы – жоғары дәлдік, сенімділік және икемділік.

Сонымен қатар, SCADA жүйелері жылыту жүйелерін орталықтандырылған түрде бақылауға мүмкіндік береді. Бұл жүйелер арқылы операторлар барлық параметрлерді нақты уақыт режимінде көріп, қажет болған жағдайда жедел түрде басқару әрекеттерін жүзеге асыра алады. SCADA жүйелері деректерді жинау, сақтау және талдау функцияларын орындай отырып, жүйенің тиімді жұмыс істеуін қамтамасыз етеді [4].

2. Цифрландырудың тағы бір маңызды бағыты – IoT (заттар интернеті) технологияларын қолдану. Бұл технология арқылы барлық құрылғылар бір желіге қосылып, өзара ақпарат алмасады. Нәтижесінде жылыту жүйесінің барлық элементтері біртұтас интеллектуалды жүйе ретінде жұмыс істейді. Бұл жүйенің тиімділігін арттырып, басқару процесін жеңілдетеді.

Жылыту жүйелерін цифрландырудың нәтижесінде алынған деректерді талдау болашақтағы энергия тұтынуды болжауға мүмкіндік береді. Бұл өз кезегінде жылу энергиясын тиімді жоспарлауға және артық шығындардың алдын алуға жағдай жасайды. Сонымен қатар, жүйеде пайда болатын ақауларды ерте анықтап, алдын алу мүмкіндігі артады.

Қазақстан Республикасында жылыту жүйелерін автоматтандыру мен цифрландыруды енгізу кезең-кезеңімен жүзеге асырылуда. Әсіресе ірі қалаларда автоматтандырылған жылу пункттері, ақылды есептегіштер және диспетчерлік басқару жүйелері кеңінен қолданылуда. Бұл шаралар энергия тиімділігін арттыруға және қоршаған ортаға түсетін зиянды азайтуға бағытталған.

Жалпы алғанда, жылыту жүйелеріндегі процестерді автоматтандыру және цифрландыру қазіргі заманғы энергетикалық жүйелердің ажырамас бөлігі болып табылады. Бұл технологиялар энергия ресурстарын үнемдеуге, жүйенің сенімділігін арттыруға және тұрақты дамуды қамтамасыз етуге мүмкіндік береді [5].

3. Жылыту жүйелеріндегі процестерді автоматтандыру және цифрландыруды талдау барысында IoT (заттар интернеті) және SCADA жүйелерінің мүмкіндіктері салыстырылды. Бұл екі технология да жүйені басқару мен бақылауда маңызды рөл атқарады, алайда олардың жұмыс істеу принциптері мен қолдану салалары әртүрлі.

SCADA жүйелері негізінен орталықтандырылған басқаруға арналған. Олар өндірістік және қалалық деңгейдегі жүйелерде қолданылады және барлық процестерді бір орталықтан бақылауға мүмкіндік береді. SCADA жүйесі арқылы операторлар нақты уақыт режимінде деректерді бақылап, жүйенің жұмысын басқара алады.

Ал IoT технологиялары құрылғыларды интернет арқылы біріктіріп, олардың арасында үздіксіз ақпарат алмасуды қамтамасыз етеді. IoT жүйелері көптеген датчиктерден алынған деректерді бұлттық платформаларға жіберіп, оларды талдауға мүмкіндік береді. Бұл технология икемділігімен және масштабталу мүмкіндігімен ерекшеленеді [6].

Жүргізілген талдау көрсеткендей, SCADA жүйелері сенімділігі жоғары және күрделі инженерлік жүйелерді басқаруға тиімді болса, IoT технологиялары икемді, арзан және кең ауқымды мониторинг жүргізуге қолайлы. Қазіргі уақытта ең тиімді шешім – осы екі технологияны біріктіріп қолдану болып табылады.

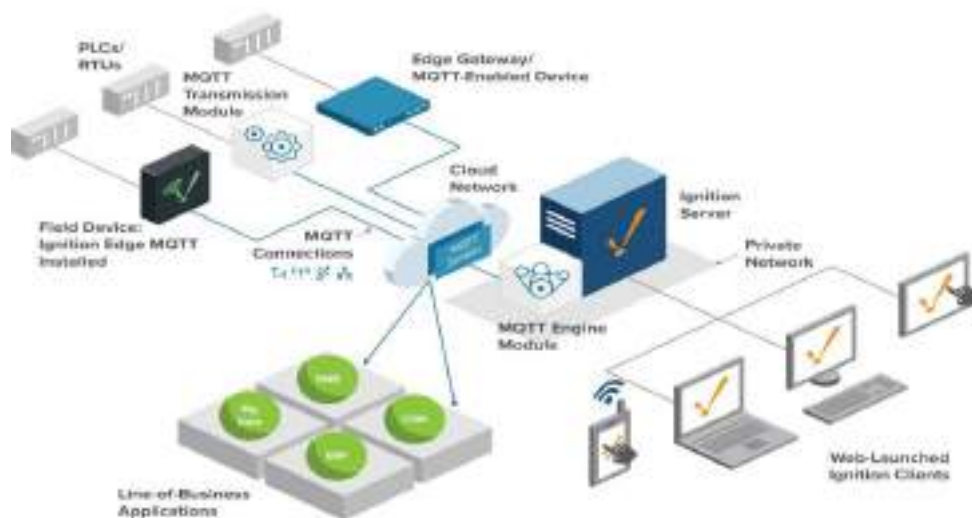
1-кесте – IoT және SCADA жүйелерінің салыстырмалы талдауы

Параметр	SCADA жүйесі	IoT технологиясы
Басқару түрі	Орталықтандырылған	Орталықтандырылмаған
Негізгі мақсаты	Басқару және бақылау	Мониторинг және деректер жинау
Мониторинг	Нақты уақыт режимінде	Онлайн, бұлт арқылы
Деректер сақтау	Локалды сервер	Бұлттық сақтау
Қашықтан басқару	Бар	Бар
Икемділік	Орташа	Жоғары
Орнату құны	Жоғары	Төмен
Масштабталу	Шектеулі	Жоғары
Қолдану саласы	Ірі өндіріс, қалалық жүйе	Ақылды үйлер, Smart City

Қорытындылай келе, IoT және SCADA жүйелері бір-бірін толықтыратын технологиялар болып табылады. SCADA жүйесі басқару мен тұрақтылықты қамтамасыз етсе, IoT технологиялары деректерді жинау мен талдауды жетілдіреді. Сондықтан заманауи жылыту жүйелерінде осы екі технологияны біріктіріп қолдану ең тиімді шешім болып табылады [7].

4. Жылыту жүйелеріндегі процестерді автоматтандыру және цифрландыру қазіргі заманғы инженерлік жүйелердің ажырамас бөлігі болып табылады. Мұндай жүйелерде температура, қысым және жылу тасымалдағыштың шығыны сияқты параметрлер арнайы датчиктер арқылы үздіксіз өлшеніп, басқару жүйесіне беріледі. Алынған деректер негізінде контроллерлер жүйенің жұмысын автоматты түрде реттейді.

IoT және SCADA технологиялары негізінде жұмыс істейтін жылыту жүйесінің құрылымы 1-суретте көрсетілген.



1-сурет – IoT және SCADA негізіндегі жылыту жүйесінің құрылымдық схемасы.

Цифрландыру технологияларын енгізу арқылы жылыту жүйелері қашықтан басқарылып, нақты уақыт режимінде бақылауға мүмкіндік береді [8]. Бұл өз кезегінде энергия тиімділігін арттырып, апаттық жағдайлардың алдын алуға ықпал етеді. Сонымен қатар, IoT және SCADA жүйелерін біріктіріп қолдану жылыту жүйесінің барлық элементтерін біртұтас интеллектуалды жүйеге айналдырады.

Мұндай жүйеде датчиктерден алынған ақпарат IoT құрылғылары арқылы бұлттық серверлерге жіберіледі, ал SCADA жүйесі осы деректерді өңдеп, визуализациялап, операторға ұсынады. Нәтижесінде жүйені толық бақылау, талдау және басқару мүмкіндігі қамтамасыз етіледі.

Әдебиеттер:

1. Қазақстан Республикасының «Энергия үнемдеу және энергия тиімділігін арттыру туралы» Заңы. – Астана, 2024.
2. Стратегия достижения углеродной нейтральности Республики Казахстан до 2060 года. – Астана, 2023.
3. Werner S. Fourth Generation of District Heating Technology. – Halmstad University, 2017.
4. Gungor V.C., Hancke G.P. Industrial Wireless Sensor Networks: Applications, Protocols, and Standards. – CRC Press, 2016.
5. Boyes H., Hallaq B., Cunningham J., Watson T. The Industrial Internet of Things (IIoT): An Analysis Framework. – Computers in Industry, 2018.
6. Stouffer K., Falco J., Scarfone K. Guide to Industrial Control Systems (ICS) Security. – NIST, 2015.
7. Qi Q., Tao F. Digital Twin and Big Data Towards Smart Manufacturing. – Engineering, 2018.
8. Al-Fuqaha A. et al. Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies. – IEEE Communications Surveys, 2015.

Фазылова Х., ИЖЖ-31 тобы студенті, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ
Фазылов К.Р., т.ғ.к., PhD, аға оқытушы, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ

MAGICAD БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ҚҰРАЛДАР ПАКЕТІН «ҚҰРЫЛЫС» МАМАНДЫҒЫ БОЙЫНША КУРСТЫҚ ЖӘНЕ ДИПЛОМДЫҚ ЖОБАЛАРДА ПАЙДАЛАНУ ТӘЖІРИБЕСІ

Мақалада «Құрылыс» мамандығының студенттерін оқытуда 3D модельдеу және BIM технологияларын қолдану мәселелері қарастырылады. Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ тәжірибесі негізінде курстық және дипломдық жобалау кезінде MagiCAD бағдарламалық кешенін пайдаланудың артықшылықтары, соның ішінде жылу жоғалтуын және жылыту мен желдету жүйелерін гидравликалық және аэродинамикалық есептеуді автоматтандыру сипатталған. Бұл бағдарламаның Danfoss CO сияқты екі өлшемді жүйелерден артықшылықтары көрсетіліп, оның жобалау сапасы мен жылдамдығын арттыратыны негізделген.

Түйін сөздер: математика, геометрия, ақпараттық жүйелер, дизайн, BIM.

В статье рассматриваются вопросы применения 3D-моделирования и технологий BIM в обучении студентов специальности «Строительство». На основе опыта ЕНУ им. Л.Н. Гумилева описываются преимущества использования программного комплекса MagiCAD при курсовом и дипломном проектировании, включая автоматизацию расчетов теплопотерь, а также гидравлических и аэродинамических расчетов систем отопления и вентиляции. Показаны преимущества данной программы перед двумерными системами, такими как Danfoss CO, и обосновано повышение качества и скорости проектирования.

Ключевые слова: математика, геометрия, информационные системы, дизайн, BIM.

The article considers the issues of using 3D modeling and BIM technologies in teaching students of the "Construction" specialty. Based on the experience of L.N. Gumilyov ENU, the advantages of using the MagiCAD software package in course and diploma design, including the automation of heat loss calculations, as well as hydraulic and aerodynamic calculations of heating and ventilation systems, are described. The advantages of this program over two-dimensional systems like Danfoss CO are shown, and the improvement in design quality and speed is substantiated.

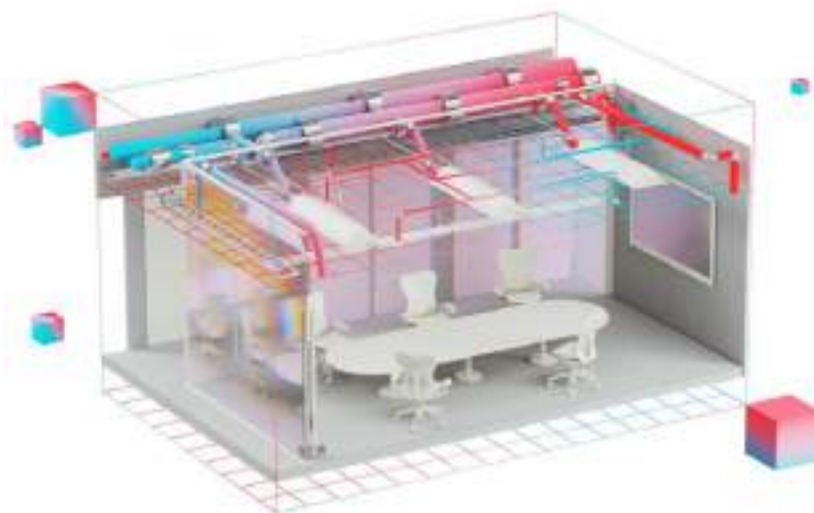
Keywords: mathematics, geometry, information systems, design, BIM.

Қазіргі математикалық білім беру үшін Техникалық мамандықтар бірқатар теріс үрдістермен сипатталады. Математикалық, жаратылыстану және жалпы кәсіби пәндерді оқуға бөлінген сағаттар санының азаюы техникалық университет түлектерінің іргелі дайындық сапасына қойылатын жоғары талаптардың артуына қайшы келеді [1]. Бұл студенттердің инженерлік және графикалық пәндерді оқуда, курстық жобаларды орындауда және дипломдық жобалау кезеңінде қиындықтарға тап болуына әкеледі.

BIM-ді инженерлік тәжірибеге кеңінен енгізумен сипатталады [2]. CAD-да (компьютердің көмегімен) 3D компьютерлік жобалау жүйелерінде барған сайын қолданылуда. Модельдеу. Жаңа бағдарламалық құралдарды үйрену және қолдану кеңістіктік қиялдың дамығанын және жеткілікті геометриялық дайындықты қажет етеді.

Үш өлшемді модельдеу құралдарының мысалы ретінде бағдарламалық жасақтама пакетін алуға болады. MagiCAD [3] финляндиялық Progam компаниясымен жасалған Оу және ішкі инженерлік жүйелерді автоматтандырылған жобалау және есептеу үшін арналған, бұл желдету және жылыту жобаларын іске асыру тиімділігін бірнеше есе арттыруға мүмкіндік береді [1]. Көрсетілген CAD AutoCAD сияқты басқа да танымал бағдарламаларды пайдалануға балама болып табылады. Меп Аллклима үшін AutoCAD,

және жобалау жылдамдығы мен сапасы жағынан ол Қазақстандағы жобалау ұйымдарында кеңінен қолданылатын Danfoss сияқты екі өлшемді CAD жүйелерінен әлдеқайда жоғары. CO, Herz CO. MagiCAD бағдарламалық жасақтама жиынтығы жылу жоғалтуын және жылыту жүйелерінің гидравликалық есептеулерін (1-сурет), желдету жүйелерінің аэродинамикалық есептеулерін (2-сурет) есептеу кезінде еңбек шығындарын айтарлықтай азайтуға мүмкіндік береді, жақсы интерфейске ие, сенімді және тиімді жұмыс істейді.



1-сурет – MagiCAD бағдарламалық жасақтама жиынтығы жылу жоғалтуын және жылыту жүйелерінің гидравликалық есептеулері.



2-сурет – Желдету жүйелерінің аэродинамикалық есептеулері.

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің (Астана) сәулет және құрылыс факультетінің құрылыс кафедрасында «Тұрғын үй және қоғамдық ғимараттардың жылыту жүйелерін жобалау» тақырыбы бойынша курстық жұмыстар мен дипломдық жобаларды орындау кезінде есептеулерді автоматтандыру (3-сурет) және инженерлік жүйелерді сызу үшін MagiCAD пакетін оқу процесінде қолдану қарастырылады.

Magisad бағдарламалық жасақтама жиынтығы жоғарыда аталған артықшылықтарының, сондай-ақ бірқатар өзіндік ерекшеліктерінің арқасында Солтүстік Еуропа мен Ресейде кеңінен танымал болды. Олардың ішіндегі негізгілері: 3D модельдеу, есептеу нәтижелерін құжаттаудың кең мүмкіндіктері, берілген тапсырмаларды шешудің тиімділігі және олардың есептеу нәтижелерін әртүрлі графиктер, диаграммалар және т.б. түрінде визуализациялау. Бұл CAD жүйесі салыстырмалы түрде жақында Қазақстан Республикасының жобалау ұйымдарында қолданыла бастады.

3-сурет – Курстық жұмыстар мен дипломдық жобаларды орындау кезінде есептеулерді автоматтандыру.

Әрі қарай студенттер AutoCAD бағдарламасында орындалған тапсырма нұсқаларының дайын жоспарларын алады. MagiCAD пакетіндегі «Бөлме» қолданбасын пайдаланып, ғимараттың сыртқы қабатын модельдейді және жылу шығынын есептейді. Бастапқы ақпаратты кейінгі жылыту және желдету есептеулері үшін шертүлерді пайдаланып қабаттар түрінде оңай көрсетуге болады.

алып жүреді және масштаб бойынша сызылады. Сипаттама AutoCAD бағдарламасында автоматты түрде жасалады немесе Microsoft-қа экспортталады.

Excel. Барлық мәтіндік және геометриялық ақпарат – құбыр қимасының ұзындығы, құбыр түрі, жылыту құрылғысының түрі, нысанның конфигурациясы туралы ақпарат, бөлме атауы және жүктеме – бір немесе басқа түрде енгізіледі және бөлек кестеде шығарылады. Қима диаметрлері, қималар саны және жылыту құрылғысының түрлері сияқты барлық сілтемелер автоматты түрде шығарылады.

MagiCAD-ты алдыңғы жылдары студенттер мен Астана жобалау бюроларының басым көпшілігі жылыту жүйелерін жобалау үшін қолданған Danfoss CO бағдарламалық жасақтамасымен салыстырсақ, біріншісінің артықшылықтары айқын. Danfoss CO – AutoCAD-қа интеграцияланбаған дербес бағдарлама. Бұл бағдарламада жасалған барлық есептеу нәтижелерін AutoCAD-та нөлден бастап қайта жасау керек болды. Danfoss CO-да күнделікті операцияларға көп уақыт жұмсалады; барлық әрекеттер қолмен орындалуы керек. Кеңістіктік жылыту жүйесі бір жазықтықта алдын ала модельденеді. Екіншіден, учаскелердің ұзындығы құбыр учаскелерінің нақты көрсеткіштерін көрсетпеді, ал бөлмелер олардың нақты өлшемдерін ескермей, тіктөртбұрыштар ретінде көрсетілді. Бұл мәселені шешу үшін нұсқаушы модельденген нысандардың формальды логикалық байланыстарын көрсету үшін тақтаны немесе экрандағы слайдты пайдалануға мәжбүр болды. Мұның бәрі Danfoss CO-да модельдеу кезінде материалды түсінуді қиындатты және ОМ бағдарламалық пакетімен салыстырғанда жобалау жылдамдығы мен сапасын айтарлықтай төмендетті.

MagiCAD – 3D бағдарламасы және AutoCAD-қа толығымен интеграцияланған. Сонымен қатар, сәулетшілер мен дизайнерлер AutoCAD-та 2D қабат жоспарларын ұсынған кезде және ақпарат Autodesk Revit-те 3D графикада берілген кезде инженерлік жүйелерді модельдеуге болады. Осылайша, CAD-ты кешенді пайдалану MagiCAD дизайнер жұмысының дөрекі, күнделікті бөлігін айтарлықтай азайтады.

Жоғарыда аталған пакеттің ерекшеліктерін авторлар Астанадағы колледж ғимараттары кешеніне кіретін нысандардың жылыту және желдету жүйелерін жобалауда пайдаланды: мұғалімдерге арналған жатақхана, студенттерге арналған 5 жатақхана, тұрақ, спорт кешені, әкімшілік ғимарат, корпус.

Түптеп келгенде, құрылыс инженериясы студенттері кәсіби дайындықтың бірінші жылында компьютерлік графика бойынша кәсіби шеберліктің орташа деңгейіне ғана қол жеткізеді деген қорытынды жасауға болады. Олар белгілі бір кәсіби білімге, дағдыларға және қабілеттерге ие, бірақ материалдың негізгі қағидалары мен оны практикалық қолдану арасындағы теориялық байланысты ескермейді; олардың ақпаратты жалпылау және талдау қабілеті жеткіліксіз дамыған.

Төртінші курста оқитын студенттер, әсіресе «Инженерлік жүйелерді компьютерлік жобалау» курсын оқитындар, негізінен кәсіби білімнің, дағдылардың және қызығушылықтың жоғары деңгейіне, жобалық ойлаудың жеткілікті деңгейіне қол жеткізді және өзін-өзі жүзеге асыру қажеттілігіне ие болды. Бұл оқыту әдісін енгізу студенттердің жалпы кәсіби дайындыққа және кәсіби саладағы білімдері мен дағдыларын тереңдетуге деген тұрақты қызығушылығын ынталандырады.

Әдебиеттер:

1. Богословский В.Н., Сканава А.Н. *Отопление: учебник для вузов.* – М.: Стройиздат, 1991. – 735 с.
2. Талапов В.В. *Технология BIM: суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий.* – М.: ДМК Пресс, 2015. – 410 с.
3. Суворов Н. *САПР в работе инженера ВК // CADMASTER.* – 2014. – №3-4. – С. 22-25.

Фазылова Х., ИЖЖ-31 тобы студенті, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ
Қонарбаева Ж.Б., аға оқытушысы, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ

БОЛАШАҚ ИНЖЕНЕРЛЕРДІ ДАЯРЛАУДА AUDYTOR.OZC БАҒДАРЛАМАСЫ НЕГІЗІНДЕ ЗАМАНАУИ АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ҚОЛДАНУ

Мақалада болашақ құрылыс инженерлерін даярлау барысында заманауи ақпараттық жүйелерді, атап айтқанда Audytor OZC бағдарламасын қолдану қарастырылады. Бұл бағдарлама ғимараттардың қоршау конструкцияларын жылулық есептеу және үй-жайлардың жылу шығындарын анықтау үшін курстық және дипломдық жобаларда қалай қолданылатыны көрсетілген. Еуропалық және ТМД стандарттарына сәйкес келетін бағдарлама мүмкіндіктері, сондай-ақ оның студенттердің базалық білімін бекітіп, инженерлік жүйелерді жобалау дағдыларын игерудегі рөлі талданған.

Түйін сөздер: ақпараттық жүйелер, инженерлік жүйелер, жобалау, CAD.

В статье рассматривается применение современных информационных систем, в частности программы Audytor OZC, в процессе подготовки будущих инженеров-строителей. Показано, как данная программа используется в курсовых и дипломных проектах для теплотехнического расчета ограждающих конструкций зданий и определения теплопотерь помещений. Проанализированы возможности программы, соответствующие европейским стандартам и стандартам СНГ, а также ее роль в закреплении базовых знаний студентов и освоении навыков проектирования инженерных систем.

Ключевые слова: информационные системы, инженерные системы, проектирование, CAD.

The article considers the application of modern information systems, in particular the Audytor OZC program, in the process of training future civil engineers. It shows how this program is used in course and diploma projects for the thermal calculation of building envelopes and determining heat losses of premises. The capabilities of the program, which comply with European and CIS standards, as well as its role in consolidating students' basic knowledge and acquiring skills in designing engineering systems, are analyzed.

Keywords: information systems, engineering systems, design, CAD.

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің сәулет және құрылыс факультетінің №5В075200 – Инженерлік жүйелер мен желілер мамандығы бойынша оқу бағдарламасына «Ғимараттардың жылу физикасы» курсы және ғимарат қаптамаларының жылулық есептеуі бойынша курстық жоба кіреді. Үшінші курста «Жылыту» және «Желдету» курстарын оқитын студенттер тұрғын үй, әкімшілік және қоғамдық ғимараттардың жылыту және желдету жүйелерін есептеу бойынша курстық жобаларды орындайды. Бұл жобаларға мыналар кіреді: ғимарат қаптамаларының жылулық есептеуі және ғимарат қаптамалары арқылы жылу шығынын есептеу. Барлық осы есептеулер ҚР SP 2.04-107-2013 сәйкес қолмен орындалады. «Құрылыс жылу техникасы», ҚР СН 4.02-01-2011 «Жылыту, желдету және ауа баптау».

Соңғы курста және дипломдық жобалау кезеңінде, Жұмыс бағдарламасына сәйкес, студенттер көп қабатты тұрғын үйдің жылыту жүйесін заманауи бағдарламаларды, соның ішінде «Audytor OZC» [1] бағдарламасын пайдаланып есептейді. Бағдарлама бөлмелердің болжамды жылу шығынын анықтауға арналған, сізге мыналарды жасауға мүмкіндік береді: қабырғалар, едендер, шатырлар және шатырлар үшін «k» жылу беру коэффициенттерін есептеу; көп қабатты қоршаулар үшін «шық нүктесін» анықтау; жеке бөлмелердің жылу шығынын есептеу; бүкіл ғимараттың жылу шығынын есептеу. Жылу шығынын есептеу нәтижелері «Аудитор Жылыту жүйелерін жобалау үшін қолданылатын SET CO бағдарламасын осы бағдарламаға импорттауға болады.

Итоги - Данные для Oventrop C.O.				
Символ	Tвн	Qo	Qдоп	Описание помещения
	°C	Вт	Вт	
101	16	889	0	Дежурная
102	18	512	0	Служебная
104	16	1032	0	Лестница
105	16	804	0	Подсобная
106	16	398	0	санузел
107	16	679	0	санузел
108	16	2558	0	Вистебюль
109	18	851	0	Коридор
110	16	981	0	Кухня, раздаточная
111	16	1325	0	WIB зал
112	16	1534	0	Обеденный зал
113	16	2448	0	Обеденный зал
201	18	1377	0	Корректор
203	16	974	0	Лестница
204	16	764	0	Подсобная
205	16	378	0	санузел

1-сурет – Бөлмелер бойынша жылу жүктемесінің есептік көрсеткіштері.

Есептеу еуропалық стандарттарға сәйкес жүргізіледі:

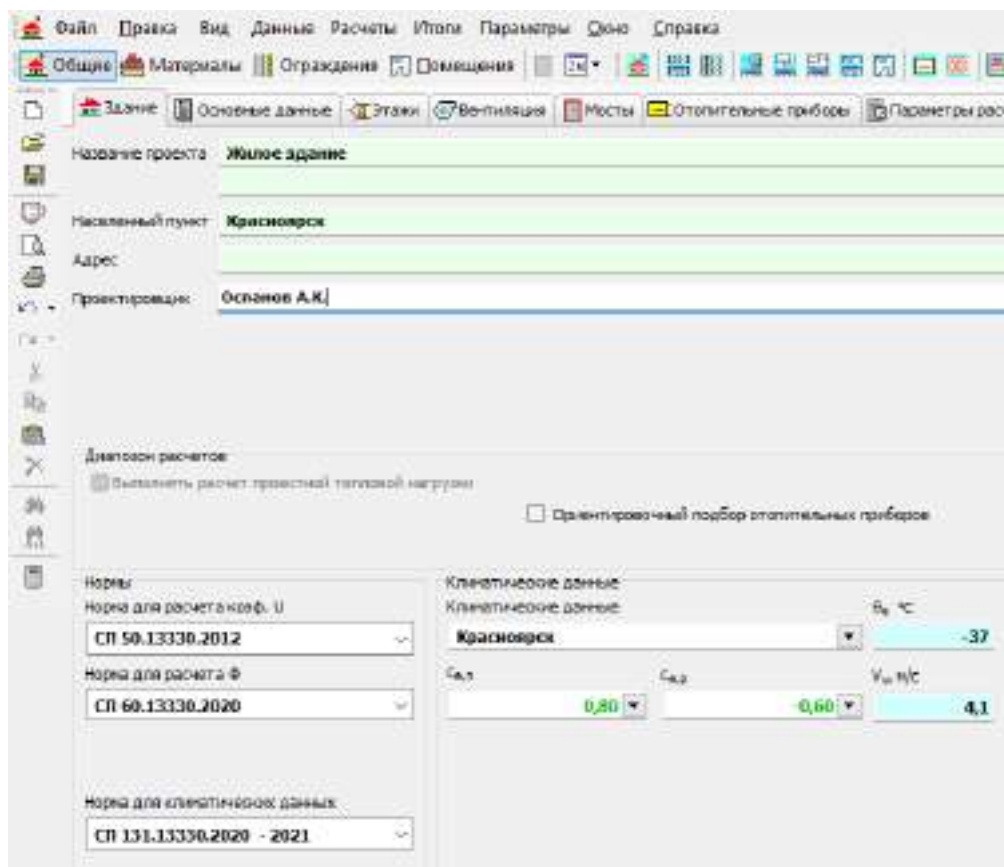
PN-EN ISO 6946 «Жылу кедергісі және жылу беру коэффициенті», PN-91/B-02020 «Ғимараттарды жылулық қорғау», PN-94/B-03406 «Куб сыйымдылығы бар үй-жайлардың жылу тұтынуын есептеу 600 м³», PN-82/B-02402 «Ғимараттардағы жылытылатын бөлмелердің температурасы», PN-82/B-02403 «Есептелген сыртқы температура».

Бағдарлама сонымен қатар CIS стандарттарына сәйкес есептейді. Нысан орналасқан климаттық аймаққа (елге) байланысты, сол елдің стандарттары кіріс деректерінен таңдалады.

Бағдарлама жұмысты жеңілдететін және тиімдірек ететін көптеген шешімдерді пайдаланады. Олардың ішіндегі ең маңыздылары:

- дамыған көмек жүйесі,
- құрылыс материалдарының бай каталогы (мүмкін көбірек қосуға болады),
- жылу өткізгіштікке төзімділікті, шатыр едендерінің ауа саңылауларына төзімділігін, топыраққа төзімділікті және d1 және d2 қоспаларын автоматты түрде анықтау функциясы, пайдаланушыны стандарттар мен кестелердегі кез келген мәндерді іздеу қажеттілігінен босатады,
- бөлме туралы деректерді енгізу кезінде басқа бөлмеге қоңырау шалу қажет болған жағдайда келесі қабаттарды автоматты түрде құру, бөлмелерді көшіру және бөлмелерді таңдау функциясы,
- жылу қуатын аз қажет ететін бөлмеден (мысалы, дәлізден) көршілес бөлмелерге жылу шығынын автоматты түрде бөлу мүмкіндігі, бұл есептеу нәтижелерін Auditor CO бағдарламасына тікелей жіберуге мүмкіндік береді.

Есептеу нәтижелері кесте түрінде көрсетілген (2-сурет). Кестенің мазмұны таңдалған кілт бойынша сұрыпталып, пішімделуі мүмкін, бұл талдауды айтарлықтай жеңілдетеді. Барлық кестелерді экранда көруге, басып шығаруға және басқа бағдарламаларға (электрондық кестелер, мәтіндік процессорлар және т.б.) беруге болады. Басып шығармас бұрын пайдаланушы бет өлшемі мен форматын, қаріп өлшемі мен стилін, басып шығару диапазонын және басып шығаруды алдын ала қарауды таңдай алады. Бағдарлама өте үлкен ғимараттар үшін жылу шығынын есептеуге мүмкіндік береді.



2-сурет – Есептеу нәтижелері.

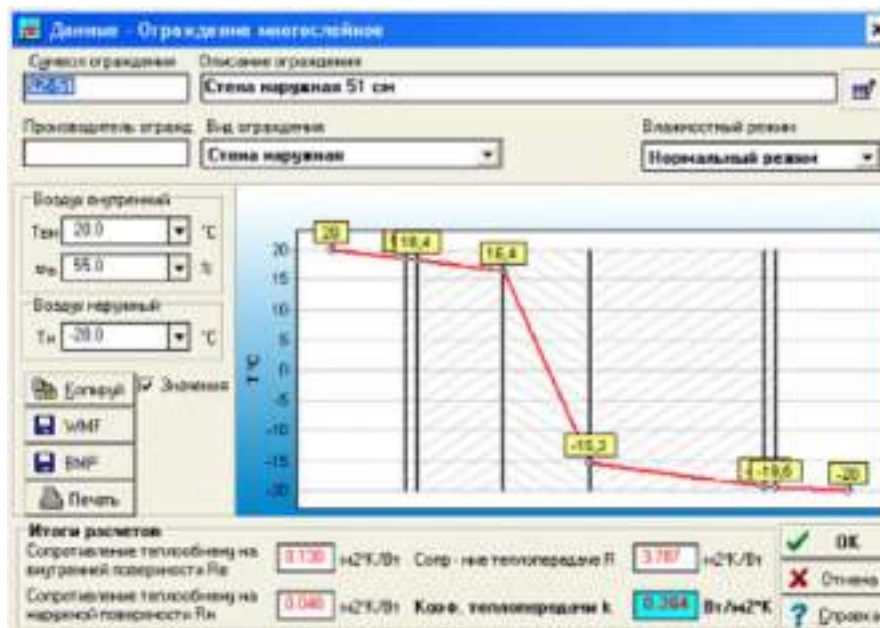
Бұл тақырып бойынша сабақтар арнайы аудиторияда – интерактивті тақтасы бар компьютерлік зертханада өткізіледі. Бірінші сабақ кезінде студенттер «<https://ru.sankom.net/>» веб-сайтындағы тіркеу формасын толтырып, арнайы формаға қолжазба өтініш жазады. Мұғалім оған қол қояды, ал студенттер өтініштің сканерленген көшірмесін және Platonus автоматтандырылған ақпараттық жүйесінен (AIS) университеттегі студент мәртебесін растайтын анықтаманы тапсырады. 24 сағат ішінде студенттер орнату файлы мен құпия сөзді электрондық пошта арқылы алады. Бағдарламаның білім беру нұсқасы бір жылға жарамды.

- студенттің жеке тапсырмасы: көп қабатты тұрғын үйдің типтік жоспарларының нұсқалары (AutoCAD файлдары), ауданды (қаланы) жобалау, ғимараттың негізгі нүктелеріне сәйкес бағдарын анықтау, қоршау конструкцияларының нұсқалары (сыртқы қабырға, төбе, шатыр, терезелер мен есіктер)

- электронды түрдегі әдебиеттер (нормативтік, анықтамалық, оқу және әдістемелік)

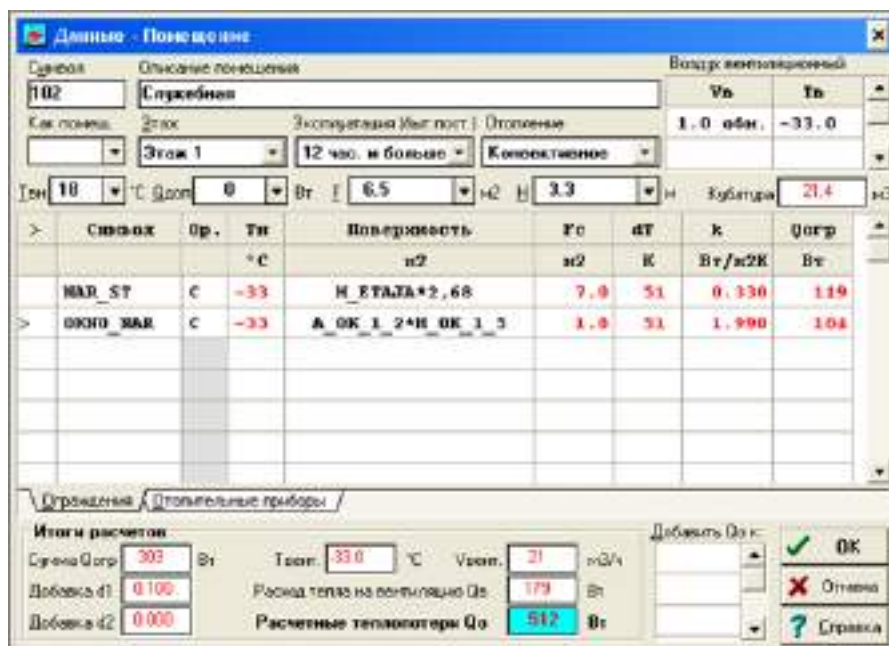
Келесі бөлімде, кіріспе бөлімінде оқытушы Audytor OZC бағдарламасының мақсатын [2] және басқа ұқсас бағдарламалардың артықшылықтары мен кемшіліктерін түсіндіреді. Ноутбук пен мультимедиялық проекторды интерактивті тақтада көрсете отырып, ол осы бағдарламаның орнату реттілігін көрсетеді және бағдарлама интерфейсін – мәзірлерді, панельдерді және диалогтық терезелерді сипаттайды. Келесіде, қоршау конструкцияларының қажетті жылу өткізгіштік кедергісі $R_{tr} \text{ SnIP II -3-79 GSOP}$ үшін сипатталған әдісті қолдана отырып анықталады (қыздыру кезеңі дәрежесі – тәулік). R_{tr} Microsoft қосымшасында есептеледі. Excel с Функцияларды пайдалану. Жылу инженериясын есептеудің соңында, Audytor OZC бағдарламасында, қоршау кон-

струкцияларының (сыртқы қабырға, төбе, шатыр) есептелген R_{tr} мәнін және көрсетілген қоршау конструкциясының нұсқасын пайдаланып, оқшаулағыш қабаттың қалыңдығын анықтаймыз (3-сурет).



3-сурет – Оқшаулағыш қабаттың қалыңдығы.

Ғимарат бөлмелерінің жылу шығынын есептеу. Студенттерге осы есептеу қадамы үшін диалогтық терезелер таныстырылады. Барлық қадамдар студенттердің «Ғимараттардың жылу физикасы», «Жылыту» және «Желдету» пәндері бойынша курстық жұмыс кезінде қолмен орындаған ұқсас жылу шығынын есептеулерімен салыстырылады. Бұл тақырыпты сыныпта бекіту үшін әрбір студент интерактивті тақтада көрсетілім жасай отырып, компьютерде бір бөлме үшін жылу шығынын есептейді (4-сурет).



4-сурет – Бір бөлме үшін жылу шығынын есептеу.

Audytor OZC – Астана мен Қазақстан Республикасындағы жобалау ұйымдарында ең көп қолданылатын бағдарлама. Audytor OZC ұқсас бағдарламалардан ерекшеленеді. –р «<https://ru.sankom.net/>» компаниясының дистрибьюторларымен таратылады. Демек, бұл басқа «Аудитор» бағдарламасында жылыту жүйелерін гидравликалық есептеуден бұрын орындалатын бағдарлама. «Орнату СО» компаниясының кең ауқымды жабдық базасы бар, Audytor OZC есептеу нәтижелерін осы бағдарламаға экспорттайды.

«Аудитор OZC» сияқты заманауи ақпараттық жүйелерді пайдалану студенттің негізгі білімін бекітуге және тереңірек меңгеруге, сондай-ақ инженерлік жүйелерді жобалау дағдыларын игеруге көмектеседі.

Әдебиеттер:

1. Савёлов В. Теплотехнический расчёт в эпоху нейросетей: хайп против физики. Сравниваем инструменты // Журнал «СОК» (Сантехника, отопление, кондиционирование). – 2026. – №2. – С. 34-37.
2. Audytor OZC 6.1 пайдаланушы нұсқаулығы (орыс тілінде).

3.6 ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

УДК 628.1/.2

Ахмет З.А., ст. гр. ВИПУ-23-1* МОК (КазГАСА)

Касабекова Г.Т., м.т.н., ассистент-профессор МОК (КазГАСА)

СИСТЕМА ВОДООТЛИВА МЕТРОПОЛИТЕНА И ПРИНЦИПЫ ЕЕ РАБОТЫ

В статье рассматривается система водоотлива метрополитена как важнейший элемент обеспечения безопасности и надежности подземных сооружений. Проанализированы основные элементы системы, включая дренажные каналы, приемки, насосные установки и датчики контроля уровня воды. Особое внимание уделено принципу работы системы, основанному на сборе, накоплении и последующем удалении воды. Рассмотрены вопросы автоматизации и обеспечения надежности при аварийных ситуациях, а также особенности эксплуатации в условиях города Алматы.

Ключевые слова: метрополитен, водоотлив, дренажная система, грунтовые воды, насосные установки, приемок, датчики уровня, автоматизация, подземные сооружения, безопасность.

Мақалада метрополитендегі су бұру жүйесі жерасты құрылыстарының қауіпсіздігі мен сенімділігін қамтамасыз ететін маңызды элемент ретінде қарастырылады. Дренаж арналары, су жиналатын шұңқырлар, сорғы қондырғылары және су деңгейін бақылау датчиктері сияқты негізгі элементтер талданған. Су жинау, сақтау және шығару принципіне негізделген жүйенің жұмыс істеу ерекшеліктеріне ерекше назар аударылған. Сонымен қатар, апаттық жағдайлардағы сенімділік пен автоматтандыру мәселелері және Алматы қаласының жағдайындағы қолданылу ерекшеліктері қарастырылған.

Түйін сөздер: метро, дренаж, дренаж жүйесі, жер асты сулары, сорғы қондырғылары, шұңқыр, деңгей датчигі, автоматика, жерасты құрылыстары, қауіпсіздік.

The article examines the metro drainage system as a key element ensuring the safety and reliability of underground structures. The main components of the system are analyzed, including drainage channels, sumps, pumping units, and water level sensors. Special attention is paid to the operating principle based on water

collection, accumulation, and removal. Issues of automation, reliability under emergency conditions, and specific features of operation in the conditions of Almaty are also considered.

Keywords: subway, drainage, drainage system, groundwater, pumping units, pit, level sensors, automation, underground structures, safety.

Введение

Метрополитен является одним из самых сложных инженерных сооружений в городской инфраструктуре. Его эксплуатация напрямую связана с воздействием подземных вод, атмосферных осадков и особенностей грунтов. Особенно это актуально для города Алматы, где присутствуют как высокий уровень грунтовых вод, так и сейсмическая активность.

Одной из ключевых задач при строительстве и эксплуатации метро является обеспечение надежного водоотведения. Без эффективной системы дренажа невозможно гарантировать безопасность движения поездов, долговечность конструкций и стабильную работу оборудования.

Цель данного доклада – подробно рассмотреть принцип работы системы водоотлива метрополитена, а также понять, как осуществляется управление водой в подземных условиях и какие технологии используются для этого.

1. Общая информация о системе дренажа в метро

Система дренажа метрополитена представляет собой комплекс инженерных решений, направленных на: [3]

- сбор воды из тоннелей и станций;
- её временное накопление;
- последующее удаление за пределы сооружения.

Основными элементами системы являются:

1) Дренажные каналы и лотки

Они расположены вдоль тоннелей и предназначены для сбора воды, поступающей из грунта, конструкций и воздуха.

2) Водоприемные устройства

Решётки и отверстия, через которые вода попадает в систему.

3) Приемки (сумпы)

Это специальные углубления, расположенные в самых низких точках тоннелей, где накапливается вода.

4) Насосные установки

Оборудование, обеспечивающее откачку воды.

5) Система управления и датчики

Обеспечивают автоматическую работу всей системы.

2. Основной принцип работы системы водоотлива

1) Поступление воды в систему

Вода в метро появляется из разных источников:

- грунтовые воды, проникающие через бетон;
- фильтрация через швы конструкций;
- конденсат от перепада температур;
- вода с поверхности (дождь, снег).

Важная информация о том, что метро не изолируется полностью от воды, а работает по принципу контролируемого отвода.[4]

2) Сбор воды в дренажных каналах

Вся поступающая вода направляется в:

- продольные дренажные каналы;
- лотки вдоль путей.

Эти элементы имеют уклон, благодаря чему вода самотеком движется в сторону приемков.

Это пассивный этап – без насосов.

3) Накопление воды в приемке

Приямок – это ключевая точка всей системы.

В нем происходит:

- накопление воды,
- контроль уровня,
- подготовка к откачке.

Приямки проектируются с учетом:

- максимального притока воды;
- аварийных ситуаций;
- запаса объема.

4) Контроль уровня воды (датчики)

Датчики считаются самой умной частью всей этой большой и сложной системы.

В современных метрополитенах используются:

1. Ультразвуковые датчики

- измеряют расстояние до поверхности воды;
- не контактируют с жидкостью.

2. Гидростатические датчики

- измеряют давление воды,
- рассчитывают уровень.

3. Радарные датчики

- высокая точность;
- устойчивость к загрязнениям.

Отличие от обычных систем

Обычные дренажи используют:

- поплавковые датчики (механические).

4. В метро:

- бесконтактные и цифровые системы;
- высокая точность;
- передача данных в реальном времени.

Также применяется дублирование датчиков и защита от отказа.

5. Сигнал на включение насосов

Когда вода достигает заданного уровня:

- датчик отправляет сигнал;
- система управления анализирует данные;
- включается насос.

К сведению включение происходит не мгновенно, а по заданным уровням:

- минимальный уровень;
- рабочий уровень;
- аварийный уровень.

6. Работа насосной установки

Насос выполняет:

- забор воды из приямка;

- подачу в напорный трубопровод.

Особенности:

- используются мощные погружные насосы;
- есть резервные насосы;
- возможна поочередная работа.

Это все необходимо для надежности и снижения износа

7. Отвод воды

Вода направляется:

- в городскую канализацию;
- в дренажные коллекторы.

После этого цикл повторяется.

3. Аварийные режимы и надежность системы водоотлива

Система водоотлива метрополитена проектируется с учетом возможных аварийных ситуаций, таких как резкое увеличение притока воды, отказ насосного оборудования или некорректная работа датчиков. В этих условиях принцип работы «сбор – контроль – откачка» дополняется механизмами резервирования и автоматической защиты. В прямках устанавливается несколько насосов (рабочий и резервные), а также дублируются датчики уровня воды, что позволяет системе продолжать работу даже при отказе отдельных элементов [1]. При достижении аварийного уровня автоматически включаются все насосы и подается сигнал диспетчеру.

Подобные решения широко применяются в метрополитенах крупных городов, таких как Токио и Нью-Йорк, где системы водоотлива рассчитаны на экстремальные условия, включая тайфуны и наводнения. Несмотря на более простую структуру, в метро Алматы также используются принципы резервирования и автоматизации, что обеспечивает надежную и безопасную эксплуатацию системы даже при неблагоприятных условиях.

Вывод

Система водоотлива метрополитена представляет собой сложный инженерный комплекс, основанный на сочетании дренажных конструкций, насосного оборудования и автоматизированных систем управления.

Основной принцип работы заключается не в полном устранении воды, а в её контролируемом сборе, накоплении и удалении. Ключевую роль в этом процессе играют датчики уровня и насосные установки, обеспечивающие бесперебойную работу системы.

Опыт развитых стран показывает, что с увеличением сложности метрополитена системы водоотлива становятся более автоматизированными и многоуровневыми. В перспективе такие технологии могут быть реализованы и в Алматы по мере развития метрополитена.

Литература:

1. СН РК 3.03-17-2013. Метрополитены. – Астана: Комитет по делам строительства и ЖКХ РК, 2013.
2. СП РК 5.01-102-2013. Основания зданий и сооружений. – Астана: Комитет по делам строительства и ЖКХ РК, 2013.
3. Самойлов В.С. Водоотлив и дренаж подземных сооружений. – М.: Инфра-Инженерия, 2022.
4. Щербаков В.И., Кузнецов П.А. Инженерные системы тоннелей и метрополитенов. – М.: АСВ, 2021.

Балабек Д., ст. гр. ВИПУ-23-1*, МОК (КазГАСА)

Касабекова Г.Т., м.т.н., ассистент-профессор МОК (КазГАСА)

ТЕХНОЛОГИИ ВОДНОГО РЕЦИКЛИНГА В УСЛОВИЯХ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ГОРОДОВ

Современные города и промышленные комплексы характеризуются высоким уровнем водопотребления, что оказывает значительное антропогенное воздействие на природные водные системы. Традиционные подходы к водоснабжению, основанные на линейной модели «забор – использование – сброс», уже не отвечают требованиям устойчивого развития [1,6]. Одним из ключевых направлений реализации данных принципов является внедрение технологий повторного использования воды, или водного рециклинга. Они находят применение в промышленности, сельском хозяйстве и жилищно-коммунальном секторе, способствуя формированию замкнутых водооборотных циклов [3]. В Казахстане вопросы повторного использования воды также приобретают стратегическое значение, что отражается в государственных инициативах и экологической политике страны.

Ключевые слова: вторичное водопользование, водный рециклинг, устойчивое развитие, водные ресурсы, сточные воды, серая вода, ливневые стоки, комплексное управление водными ресурсами (КУВР), водооборотные системы, водоснабжение, экология, урбанизация.

Қазіргі заманғы қалалар мен өнеркәсіптік кешендер суды тұтынудың жоғары деңгейімен сипатталады, бұл табиғи су жүйелеріне айтарлықтай антропогендік әсер етеді. «Қоршау – пайдалану – төгу» сызықтық моделіне негізделген сумен жабдықтаудың дәстүрлі тәсілдері енді тұрақты даму талаптарына жауап бермейді. Осы қағидаттарды іске асырудың негізгі бағыттарының бірі суды қайта пайдалану немесе суды қайта өңдеу технологияларын енгізу болып табылады. Олар өнеркәсіпте, ауыл шаруашылығында және тұрғын үй-коммуналдық секторда жабық су айналымы циклдарының қалыптасуына ықпал етеді. Қазақстанда суды қайта пайдалану мәселелері де стратегиялық маңызға ие, бұл елдің мемлекеттік бастамалары мен экологиялық саясатында көрініс табады.

Түйін сөздер: қайталама суды пайдалану, суды қайта өңдеу, тұрақты даму, су ресурстары, ағынды сулар, сұр су, нөсер ағындары, суды кешенді басқару (CUIR), су айналымы жүйелері, сумен жабдықтау, экология, урбанизация.

Modern cities and industrial complexes are characterized by high levels of water consumption, which has a significant anthropogenic impact on natural water systems. Traditional approaches to water supply based on the linear model of "intake – use – discharge" no longer meet the requirements of sustainable development. One of the key areas of implementation of these principles is the introduction of water reuse technologies, or water recycling. They are used in industry, agriculture, and the housing and communal services sector, contributing to the formation of closed water cycles. In Kazakhstan, water reuse issues are also gaining strategic importance, which is reflected in government initiatives and the country's environmental policy.

Keywords: secondary water use, water recycling, sustainable development, water resources, wastewater, gray water, stormwater, integrated water resources management (IWRM), water circulation systems, water supply, ecology, urbanization.

В настоящее время существует множество методов по экономии и вторичному использованию воды. Как в жилых, частных, так и больших предприятиях.

По данным на 2026 год в среднем, физиологическая потребность в воде (для питья и с пищей) составляет 1,5-3 литра в сутки на человека [1]. При этом общий расход воды, включая гигиену и бытовые нужды, составляет в среднем 150–250 литров на человека в день. Вторичная вода – это вода, которая прошла первоначальный цикл потребления (например, хозяйственно-бытовая или промышленная), а затем очищена и используется снова. Основная цель – снизить нагрузку на пресные источники и уменьшить объём сбросов загрязнённых вод.

Учитывая одежду которую мы носим, еду которую мы потребляем, книги которые мы читаем, и всю нашу деятельность, в том или ином виде, требующая водные ресурсы.

Все эко инициативы в сфере строительства оцениваются по шкале LEED.

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) [6] – ведущая международная система сертификации «зеленых» зданий. Она подтверждает высокую энергоэффективность, экологичность и устойчивость проектов, снижая эксплуатационные расходы до 30%. Сертификация включает оценку по 6+ категориям, уровни зависят от набранных баллов (Certified, Silver, Gold, Platinum).

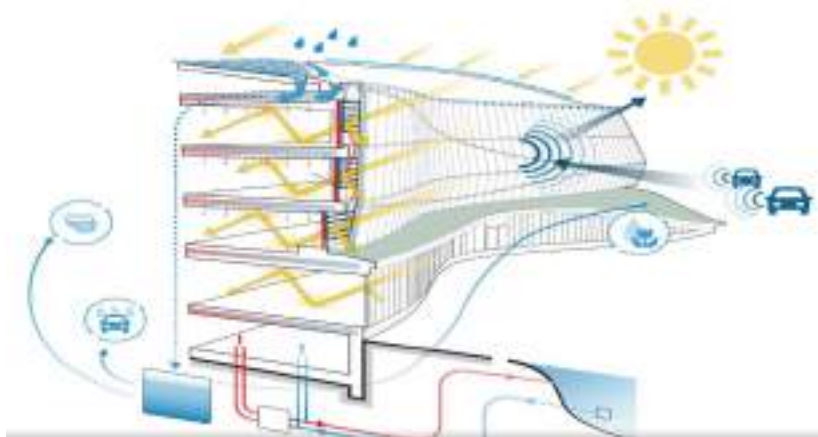


Рисунок 1 – Olympic House, Швейцария.

Международный олимпийский комитет (МОК) открыл свою штаб-квартиру в 2019 году. Здание признано одним из самых устойчивых в мире – это подтверждают три международных сертификата, полученных объектом, в том числе LEED Platinum, высший уровень сертификации международной программы зеленого строительства LEED. В год официального открытия объекта Olympic House получил наибольшее количество баллов (93) среди всех проектов нового строительства, сертифицированных по этому стандарту.

Солнечные панели и тепловые насосы, использующие воду из близлежащего Женевского озера для производства возобновляемой энергии, позволяют сократить потребление энергии на 35% и на 60% – воды, по сравнению с аналогичными зданиями. Кроме этого, сократить затраты на потребление воды позволяют водосберегающие смесители и туалеты, а также система сбора дождевой воды.

Высокому уровню экологичности соответствует не только эксплуатация объекта, но и его строительство – так, 95% строительных отходов, полученных при постройке здания, были применены повторно или переработаны.

Методы вторичного использования воды

1. Повторное использование сточных вод [2]

После очистки сточные воды можно применять для технических целей:

- промышленные процессы,
- полив сельскохозяйственных культур,
- охлаждение оборудования и систем,
- смыв туалетов (non-potable use) использование воды, непригодной для питья, приготовления пищи или личной гигиены (техническая вода). Такая вода применяется для смыва туалетов, полива, технических нужд или пожаротушения, помогая экономить питьевые ресурсы. Она безопасна для данных задач, но не для питья.

2. Ливневая вода

Дождевая вода (ливневые стоки) собирается и используется для:

- полива зелёных зон;
- пожаротушения;
- технологических нужд на предприятиях.

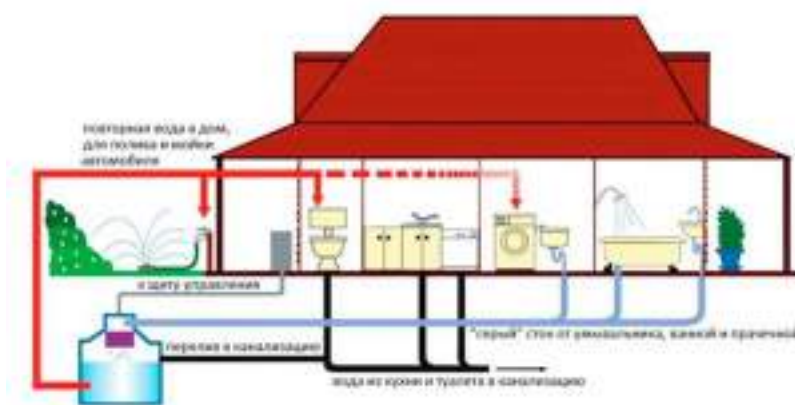


Рисунок 2 – Схема системы рециклинга и повторного использования «серых» сточных вод в жилом доме.

Серая вода (greywater). Это вода из душа, стоков раковин, стиральных машин. Она не пригодна для питья, но после фильтрации может использоваться для:

- полива;
- смыва в туалетах;
- технических процессов.

Примеры использования вторичной воды

Промышленность

На крупных предприятиях применяются замкнутые циклы водооборота, где вода постоянно рециркулируется [1], [6].

Тенгизшевройл (ТШО) продолжает демонстрировать ответственный подход к охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов. В 2024 году компания достигла значимого показателя – уровень повторного использования воды составил 48%, что стало возможным благодаря системному подходу и внедрению современных технологий водоочистки.

Все хозяйственно-бытовые сточные воды, собираемые с объектов ТШО, проходят три этапа очистки:

1. Предварительная очистка – механическое удаление крупных загрязнений, таких как песок, масла и жиры.

2. Биологическая очистка – устранение органических веществ, а также соединений азота и фосфора.

3. Доочистка – дезинфекция и приведение воды к нормативным показателям, установленным законодательством Республики Казахстан.

После прохождения всех стадий сточные воды дополнительно обрабатываются на установке ПИВ методом обратного осмоса, что позволяет получать техническую воду, используемую в производственных процессах – например, для охлаждения оборудования и в технологических циклах [4].

Государственные инициативы

В Казахстане до 2030 года все автомойки в стране обязали перейти на систему оборотного водоснабжения [5]. На данный момент решается вопрос о льготах и грантах на оборудование от государства в качестве поддержки для бизнесов.

Преимущества и недостатки

Преимущества

- Экологичность – уменьшает загрязнение окружающей среды.
- Экономия водных ресурсов – помогает сохранять пресную воду для питья.
- Повышение устойчивости – полезно в засушливых регионах.
- Снижение затрат – промышленность экономит на воде и её очистке.

Недостатки

- Необходимость очистки – вода должна быть безопасной для применения.
- Риск загрязнений – при недостаточной очистке могут возникнуть риски для здоровья.
- Стоимость технологий – оборудование для очистки и рециркуляции может быть дорогим.

Вывод

В современных условиях глобального изменения климата, роста населения и урбанизации проблема рационального использования водных ресурсов становится одной из ключевых задач устойчивого развития. Дефицит пресной воды уже сегодня затрагивает миллионы людей во всём мире, а в ряде регионов Центральной Азии, включая Казахстан, усиливается влияние засух и сокращения стока рек, питаемых ледниками.

Использование вторичной воды является эффективным инструментом комплексного управления водными ресурсами (КУВР). Повторное применение очищенных сточных вод позволяет существенно снизить забор воды из природных источников, уменьшить объём загрязняющих сбросов и сократить антропогенную нагрузку на экосистемы. Особенно актуально это для городов с высокой плотностью населения и промышленной концентрацией.

Практика показывает, что внедрение систем рециркуляции воды в промышленности может сократить потребление свежей воды на 30-70%. В сельском хозяйстве повторное использование очищенных сточных вод снижает нагрузку на оросительные системы и одновременно позволяет возвращать в почву питательные вещества. В жилищно-коммунальном секторе использование серой воды и дождевых стоков способствует формированию водосберегающей культуры среди населения.

С экологической точки зрения вторичное водопользование снижает риск эвтрофикации водоёмов, уменьшает загрязнение поверхностных и подземных вод и способствует сохранению биоразнообразия [1] [2]. С экономической стороны – это снижение затрат на водоснабжение, водоотведение и строительство новых водозаборных сооружений.

Таким образом, использование вторичной воды – это не временная мера, а стратегическое направление развития водохозяйственного комплекса. В перспективе именно замкнутые водооборотные циклы и повторное использование воды станут основой устойчивых городов будущего и экологически ориентированной экономики.

Литературы:

1. Организация Объединённых Наций. Всемирный доклад о состоянии водных ресурсов мира. – Нью-Йорк: ООН, последние издания.
2. Всемирная организация здравоохранения. *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Grey-water*. – Женева, 2006.
3. Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН. *Water reuse in agriculture: guidelines and best practices*. – Рим.
4. Министерство экологии и природных ресурсов Республики Казахстан. Доклады о состоянии окружающей среды Республики Казахстан.
5. Водный кодекс Республики Казахстан. – Астана.
6. UNESCO. *Water Security and the Global Water Agenda*.
7. Учебные пособия по дисциплине «Водоснабжение и водоотведение» для студентов строительных и водохозяйственных специальностей.

ӘОЖ 628.1

Балгабаев А.Е., В074-7352-23-01 тобы студенті, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ
Молдабаева Г.Н., аға оқытушы, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ

ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ҚАЛАЛЫҚ СУМЕН ЖАБДЫҚТАУ ЖҮЙЕСІНДЕГІ СУ ШЫҒЫНЫНЫҢ СЕБЕПТЕРІН ТАЛДАУ

Бұл мақалада Қазақстанның қалаларындағы орталықтандырылған сумен жабдықтау жүйелеріндегі судың шығыны мен жоғалу себептері жан-жақты қарастырылады. Судың жоғалуының негізгі себептері және негізгі проблемалары ретінде су құбырлары желісінің және имараттарының тозуы, өндірістік кәсіпорындарда сусыз технологияларды қолданбауы, есепке алу жүйесінің жетіспеушілігі және жаңа құбырларға ауыстыру мәселесінің пайда болуы анықталған. Осы сала бойынша су шығынын азайтуға бағытталған шаралар ұсынылған.

Түйін сөздер: сумен жабдықтау, инженерлік жүйелер, су тұтыну, шаруашылық-ауыз су, су тораптары мен имараттары, су шығыны, су тапшылығы, құбыр желілері, қалалар мен елді мекендер, өндірістік кәсіпорындар, өрт сөндіру, көшелерді суғару.

В данной статье всесторонне рассматриваются причины расхода и потерь воды в системах централизованного водоснабжения городов Казахстана. В качестве основных причин и ключевых проблем потерь воды определены износ водопроводных сетей и сооружений, отсутствие внедрения безводных технологий на промышленных предприятиях, недостаточность системы учета и проблема замены на новые трубопроводы. В рамках данной области предложены меры, направленные на снижение потерь воды.

Ключевые слова: водоснабжение, инженерные системы, водопотребление, хозяйственно-питьевая вода, расход воды, дефицит воды, трубопроводные сети, города и населенные пункты, промышленные предприятия, пожаротушение, полив улиц.

The article comprehensively examines the causes of water consumption and losses in centralized water supply systems of cities in Kazakhstan. The main causes and key problems of water losses are identified as the deterioration of water supply networks and facilities, the lack of implementation of waterless technologies in industrial enterprises, insufficient metering systems, and the issue of replacing old pipelines with new ones. Measures aimed at reducing water losses in this field are proposed.

Keywords: water supply, engineering systems, water consumption, domestic drinking water, water supply networks and facilities, water usage, water scarcity, pipeline networks, cities and settlements, industrial enterprises, firefighting, street irrigation.

Су – бұл адам өміріне негізі және стратегиялық ресурс. Қазақстан су тапшылығы бар елдердің қатарына жатады. Жан басына қарастырғанда жылдық су қоры шамамен 600 000 м³/адам болып, бұл дүниежүзілік орта деңгейден айтарлықтай төмен. Қазіргі уақытта елдің жалпы су тұтынуы жылына орта есеппен 22-24 км³ құрайды, оның 65%-дан астамы ауыл шаруашылығына жұмсалады [1].

Сумен жабдықтау – қаладағы және елді мекендегі инфрақұрылымдық маңызды бөлігі болатын инженерлік жүйенің бір түрі. Алайда, дүние жүзі бойынша таза судың едәуір бөлігі тұтынушыға жетпей жоғалып кетеді. Дүниежүзілік деректер бойынша, дамушы елдерде сумен жабдықтау желілеріндегі шығын 30-50% жетеді [2].

Қалалық су құбыры жүйелерінің қазіргі жағдайы және қарқынды дамуы, бір мезгілде пайдаланатын су көздерінің, сорғы станцияларының және реттеуші сыйымдылықтарының артуы су беру және тарату жүйелерін есептеу жетілдіруді талап етеді.

Сумен жабдықтау инженерлік жүйелерінің жекелеген элементтерінің өлшемдері мен қуаттары осы элементтерге берілген шығындарға (не болса, оларды пайдалану барысында болжанатын су шығындарға) қарай анықталады. Су шығындары – бұл белгілі бір уақыт бірлігінде осы элементтер жеткізуге, тасымалдауға, жинақтауға немесе сақтауға тиіс есептік су мөлшері. Шығындарды анықтаудың негізі ретінде тұтынылатын судың берілген көлемдері, оны тұтыну режимі, сондай-ақ су құбыры желісіндегі қажетті және рұқсат етілген қысым мәндері алынады [3].

Су тұтынудың келесі негізгі түрлерге (категорияларға) ажыратылады:

- 1) Халықтың шаруашылық-ауыз су қажеттіліктеріне орай тұтыну;
- 2) Өнеркәсіптік кәсіпорындардың өндірістік қажеттіліктеріне орай су тұтыну;
- 3) Қалалардың және елді мекендердің аумақтарын (көшелерді, алаңдарды) суғару және жуып шаюға, жасыл алқаптарды суғаруға орай су тұтыну;
- 4) өрт сөндіруге қарай су тұтыну.

Сумен жабдықтау жүйесі қызмет көрсететін бүкіл нысанның қажеттіліктерін қанағаттандыруы тиіс. Су тұтыну нысандарының көпшілігі әртүрлі категориялардағы су тұтынушылар кешенінен тұрады [4].

Сумен жабдықтауда қамтамасыз ету қажеттілігін анықтау үшін елді мекен туралы негізгі мәліметтер беріледі (халық тығыздығы, құрылыстың қабаттылығы, ғимараттардың абаттандырылу деңгейі) және өнеркәсіптік кәсіпорындар туралы деректер (технологиялық су шығыны немесе нормасы, тәуліктік біркелкісіздік коэффициенттері, қажетті қысым, кәсіпорындардағы ауысым саны, әр ауысымдағы суық және ыстық цехтарда жұмысшылар саны, сусебер пайдаланушы саны және т.б.). Сондай-ақ, өндірістік қажеттіліктерге арналған судың сапасы, суды айналымда және қайта пайдалану мүмкіндігі, өнеркәсіп кәсіпорындарының және елді мекендегі өрте қарсы қажеттіліктеріне жұмсалатын су шығыны көрсетіледі. Сонымен қатар, жасыл аумақтардың және суғарылатын жерлердің аудандары да қажет етіледі [5].

Қазақстандағы қалада тұратын халықтың тек қана 75%-ы су құбырымен жеткізілетін сумен қамтамасыз етіледі, оның 18%-ы жергілікті су көздерінен, ал қалған-

дары көлікпен тасып әкелінетін суды жаратады. Сумен жабдықтау жүйелерінің және желілерінің (тораптарының) салынып пайдалануға берілгеннен 25-30 жылдан асып кеткендіктен, қазір бұл тораптар мен имараттар тозып, көбісі істен шығып жатыр. Яғни нормативтік пайдалану мерзімі тек 25 жылды ғана құрайды, тозып кеткен желілерді толық ауыстыруына талап етеді [4, 6].

Республика бойынша сумен жабдықтау жүйелерінің 25,8%-ы санитарлық талаптарға сәйкес келмейді [4]. Төменде Қазақстанның негізгі қалалары мен облыстары бойынша су желілерінің тозу деңгейі мен судың шығыны жинақталған *кесте* көрсетілген.

1-кесте – Қазақстан қалаларындағы су желілерінің тозуы мен судың шығыны

Қала және облыс	Сумен жабдықтау желісінің тозуы, %	Су шығыны, %
Алматы	31,2	34
Астана	50	–
ШҚО	46	~40
Павлодар облысы	57,1	–
Жамбыл облысы	89,7	–
Алматы облысы	58	~40
Қарағанды облысы	41	~35

Суды жеткізу процесі – күрделі және көпсатылы. Қазақстан Республикасында ол келесідей жүзеге асырылады: сумен жабдықтау саласындағы ұйымдар суды сатып алып, сорғы станцияларының көмегімен оны магистральдық құбырлар арқылы тазарту құрылыстарына жеткізеді. Онда су сүзгіден (фльтрациядан) өткізіліп, содан соң тазартылып, ауыз су деңгейіне дейін жеткізіледі. Содан кейін ауыз су тарату желілері арқылы тұтынушыларға беріледі (*1-сурет*).



1-сурет – Сумен жабдықтау жүйесінің қалаға тарату қарапайым сұлбасы.

Сумен жабдықтау жүйесіндегі судың жоғалу себептерінің шешімін талап ететін негізгі проблемалар келесідей:

- 1) су құбыр желілері мен имараттарының нормативтік жарамдық мерзімінен асу себебінен тозуы, осыған байланысты су сапасының төмендеуі;
- 2) өнеркәсіп орындарында суды қолдануынан басқа балама технологиялардың болмауы немесе аз болуы;

- 3) сумен жабдықтау су желілерін және имараттарын дұрыс қолданбауы;
- 4) суды тазалауға арналған реагенттермен технологиялардың имараттар мен қондырғылардың қарқындылығын енгізбеу мәселесінің болуы;
- 5) суды тасымалдауға арналған құбырларды жаңа материалдарға және құбырларды жаңарту немесе ауыстыру мәселесінің пайда болуы.

Ал бұл саладағы судың негізгі жоғалу себептері: желілердің және имараттардың тозуы, техникалық апаттар және авариялар, заңсыз қосылулар, есепке алу жүйесінің жеткіліксіздігі, тиімсіз басқару. Жүргізілген зерттеу Қазақстан қалаларындағы су шығынының маңызды және жүйелі мәселе екенін растайды. Республика бойынша орташа су желісінің тозуы 43%-ды, ал кейбір қалаларда одан да жоғары деңгейге жетеді. Нәтижесінде, жеткізілетін судың 40%-ға дейіні жоғалады.

Қазақстан қалаларындағы су шығынының тікелей байланысты екі негізгі факторлары – су желілерінің тозуы және басқару жүйесінің тиімсіздігі. Бұл жандай тек экономикалық ысырапқа (жоғалған су – тікелей табыс жоғалту) ғана емес, жалпы су ресурстарының тиімсіз пайдаланылуына алып келеді.

Әдебиеттер:

1. Мырзахметов М. Суды тасымалдау: Оқулық. – Алматы: «Экономика» баспасы, 2014. – 384 б.
2. Арамов Н.Н. Водоснабжение: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1974. – 480 с.
3. Абрамов Н.Н., Поспелова М.М., Сомов М.А. и др. Расчет водопроводных сетей: Учеб. пособие для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1983. – 278 с.
4. Тоғабаев Е.Т., Өтепбергенова Л.М. Су құбыр және суды әкету тораптары: Оқу құралы. – Астана: Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, 2017. – 136 б.
5. Сомов М.А., Квитка Л.А., Водоснабжение: Учебник. – М.: ИНФРА-М, 2007. – 287 с.
6. ҚР ҚНЖЕ 4.01-02-2009. Сумен жабдықтау. Сыртқы тораптар мен имараттар. ҚР Құрылыс және тұрғын үй-коммуналдық шаруашылық істері агенттігі. – Астана, 2010. – 122 б.

УДК 628.3

Батырбекова Н.Б., ст. гр. ВИПУ-24-1*, МОК (КазГАСА)
Джартаева Д.К., к.т.н., доцент, ассоц. проф. МОК (КазГАСА)

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД

В статье рассматриваются технологии рационального использования дождевых стоков в условиях дефицита водных ресурсов. Проанализированы методы сбора, очистки, хранения и повторного использования дождевой воды.

Ключевые слова: дождевые стоки, сбор дождевой воды, водосбережение, устойчивое водопользование, инфильтрация, ливневая канализация, зелёная инфраструктура, очистка воды, водные ресурсы, экологическая устойчивость.

Мақалада су тапшылығы жағдайында жауын-шашын ағын суларын ұтымды пайдаланудың заманауи технологиялары қарастырылады. Жаңбыр суын жинау, тазарту, сақтау және қайта пайдалану әдістері талданған.

Түйін сөздер: жаңбыр суы, жаңбыр суын жинау, суды үнемдеу, суды тұрақты пайдалану, инфильтрация, жаңбыр суларын дренаждау, жасыл инфрақұрылым, суды тазарту, су ресурстары, экологиялық тұрақтылық.

The article examines modern technologies for the rational use of rainwater runoff under conditions of water scarcity. Methods of collection, treatment, storage, and reuse of rainwater are analyzed.

Keywords: rainwater runoff, rainwater harvesting, water conservation, sustainable water use, infiltration, stormwater drainage, green infrastructure, water treatment, water resources, environmental sustainability.

Введение

Рациональное использование водных ресурсов – одна из фундаментальных задач современного общества. С ростом населения, урбанизацией и изменением климата дефицит пресной воды возрастает. Это обуславливает необходимость внедрения инновационных методов водопользования, включая сбор и повторное использование дождевой воды, а также развитие систем рециркуляции воды.

Традиционно дождевая вода рассматривается как отходы, которые следует быстро утилизировать через системы ливневой канализации. Однако современный подход заключается в использовании её как ценного ресурса. Грамотное управление ливневыми стоками может снизить нагрузку на водные ресурсы, уменьшить риски наводнений и улучшить экологические условия в районах. Недавние исследования показывают, что до 30-50% городского потребления воды может быть обеспечено за счёт повторного использования дождевой воды [1].

В развитых странах эффективно внедряются концепции устойчивых дренажных систем (SUDS) и низкозатратного развития (LID), направленные на максимальное удержание воды там, где она образуется. Эти технологии не только экономят воду, но и снижают её загрязнение.

Обзор литературы

Современные методы сбора дождевой воды приобретают особое значение, учитывая глобальный дефицит воды и изменение климата. Эффективное хранение и использование дождевой воды может снизить нагрузку на традиционные системы водоснабжения, повысить устойчивость городов и сельских районов к засухе и снизить риск наводнений. Устойчивые методы сбора обеспечивают максимальное сохранение качества воды за счет сведения к минимуму загрязнения через фильтры и системы предварительной очистки. Включение таких технологий в зеленую инфраструктуру, такую как биофильтры, дождевые сады и проницаемые слои, усиливает естественную фильтрацию и улучшает микроклимат. Кроме того, интеллектуальные системы управления позволяют оптимизировать процесс сбора и хранения, автоматически регулируя количество и направление потока воды в зависимости от погодных условий и потребностей пользователя. Поэтому современные технологии играют ключевую роль в создании устойчивых водных систем, помогая сохранять ресурсы и защищать окружающую среду [2].

Материалы и методы

Сбор и повторное использование дождевой воды. Дождевая вода является важным альтернативным источником водоснабжения. *Современные системы сбора* включают: канализационные зоны (крыши и платформы); канализационные системы; фильтрующие устройства; резервуары для хранения [3]. Пример – на рисунке 1.

Принцип работы системы заключается в том, что дождевая вода стекает на крышу здания и по дренажным трубам направляется в пылесборник для листьев и фильтр грубой очистки, где задерживаются крупный мусор, листья и песок. После этого очищенная вода поступает в резервуар для хранения и используется по мере необходимости. Собранная вода может применяться для полива зелёных насаждений, технических нужд, канализационных систем, а также, после дополнительной очистки, для бытовых целей.



Рисунок 1 – Система сбора дождевой воды (жилой дом).

Использование дождевой воды позволяет значительно снизить нагрузку на централизованные системы водоснабжения.

Повторное использование воды (рециркуляция) включает очистку сточных вод и последующее их использование в различных секторах. Основные области применения: промышленность (охлаждающее оборудование и технологические процессы), сельское хозяйство (орошение), коммунальные услуги.

Данная схема приведена на рисунке 2.

Принцип работы системы заключается в том, что забор воды осуществляется из источника, например промышленного водопровода или накопителя, после чего вода используется в производственных процессах и превращается в сточные воды



Рисунок 2 – Обратная система водоснабжения на предприятии.

Далее сточная вода поступает в отстойник, где осаждаются крупные частицы и загрязнения, затем проходит через фильтры и станцию очистки, где осуществляется механическая и химическая обработка. После очистки вода может быть повторно использована в производстве или сброшена в водоём без ущерба для окружающей среды [4]. Современные методы очистки включают механическую фильтрацию, биологическую очистку, мембранные технологии и ультрафиолетовую дезинфекцию.

Эти технологии обеспечивают безопасное и эффективное повторное использование воды, прошедшей определенную доочистку и очистку после целевого использования.

Комбинированная система водопользования – это инженерная система, которая объединяет сбор дождевой воды, повторное использование сточных вод и элементы обо-

ротного водоснабжения. Она позволяет использовать воду разного качества в зависимости от назначения: для питьевых, бытовых и технических нужд. Такая система направлена на экономию пресной воды и снижение нагрузки на водные ресурсы (рис. 3).



Рисунок 3 – Комбинированная система водопользования.

Принцип работы системы заключается в том, что дождевая вода собирается с крыши, проходит фильтрацию и поступает в резервуар для хранения, после чего используется для различных нужд: питьевых (при дополнительной очистке), бытовых (например, для стиральной машины и сантехники), а также технических и ирригационных целей. Циркуляционный насос обеспечивает подачу воды из резервуара на очистные сооружения и обратно, что позволяет организовать повторное использование. Таким образом, система объединяет использование дождевой воды, бытовых сточных вод и процессы их очистки, обеспечивая эффективное и рациональное водопользование. Это позволяет более эффективно использовать ресурсы и снижает их выброс в окружающую среду.

Системы рециркуляции воды – это системы, в которых вода используется многократно в замкнутом цикле. Они часто используются на промышленных предприятиях. Преимущества систем рециркуляции: значительное снижение потребления пресной воды; сокращение сброса загрязненных сточных вод; снижение воздействия на окружающую среду; экономичность. В таких системах вода очищается и возвращается в производственный цикл, что делает ее важным элементом устойчивого развития.

Процесс проектирования включает несколько этапов: анализ климатических условий (количество осадков, интенсивность осадков); определение площади водосборного бассейна; расчет объема резервуара для хранения; выбор систем фильтрации и очистки; разработка плана водораспределения. Для наглядного представления принципа работы системы сбора и повторного использования дождевой воды ниже приведена инженерная схема, отражающая основные элементы системы и последовательность движения воды от водосбора до конечного потребителя. На рисунке 4 представлена гидравлическая схема системы сбора и использования дождевой воды. Дождевая вода собирается с крыши здания и по водосточной трубе поступает в листоуловитель и фильтр грубой очистки, где задерживаются крупные загрязнения. Далее вода направляется в накопительный резервуар, в котором происходит её хранение. Из резервуара с помощью насоса вода подаётся на фильтр тонкой очистки и систему обеззараживания, после чего распределяется к потребителям. Очищенная вода используется для полива, санитарных нужд и других технических целей. Также на схеме показан перелив и дренаж, обеспечивающие отвод избыточной воды.



Рисунок 4 – Гидравлическая схема системы сбора и использования дождевой воды.

В процессе планирования учитываются санитарные нормы, тип здания и предполагаемое использование воды. Обеспечение надежности и экономической эффективности системы является важнейшим аспектом.

Сады на крышах. Зеленые крыши, это многослойные конструкции, покрытые растительным слоем и позволяющие частично задерживать воду. Они способны: идеально подходят для снижения объема стока; удерживать часть осадков; снижать потребности зданий в кондиционировании; совершенствовать микроклимат в городе [5].

Резервуары в ландшафте. Это формы рельефа или углубления, где дожди собираются дождями или талой водой. Они служат для затенения ландшафта, формирования биополей, задержания воды и также ее постепенного просачивания в грунт. Резервуары хороши для улучшения качества воды, ямы в ландшафте.

Дождевые сады. Эти сады, или участки, специально задерживают воду, временно ее удерживая и очищая. Их роль: усложнять путь воды, задерживать воду, пополнять подземные воды, поддерживать биоразнообразие.

Внедрение подобных технологий в условиях Казахстана имеет высокий потенциал, особенно в быстро развивающихся городах, где наблюдается рост нагрузки на системы водоснабжения и водоотведения.

Результаты и обсуждения

Мировой опыт рационального использования дождевых стоков,

Германия широко использует практики экологичного управления ливневыми водами. Ключевые решения: зеленые крыши, проницаемые покрытия поверхностей, локальные системы инфильтрации.

Во многих городах применяют принцип, что «вода должна оставаться там, где она выпала». Это позволяет снизить вероятность возникновения наводнений, способствует пополнению и сохранению подземных вод, а также уменьшает нагрузку на системы ливневой канализации.

Сингапур считается одним из мировых лидеров в сфере управлении водными ресурсами. Здесь создана интегрированная система, обеспечивающая сбор дождевой воды по всему городу; очистку и повторное использование; связь с водохранилищами. Уникальный факт: город можно рассматривать как огромный единый резервуар для сбора воды.

В США технологии сбора и использования дождевой воды активно применяются на местном уровне, а также в отдельных штатах и городах: дождевые сады, системы задержания стоков, зеленая инфраструктура.

Во многих городах реализуются программы по снижению объемов ливневых стоков и поощрению строительства с использованием экологичных технологий.

В Индии сбор дождевой воды является важным источником водоснабжения, особенно в засушливых районах. Основными методами являются традиционные системы сбора воды, колодцы для инфильтрации и резервуары для накопления. В некоторых штатах сбор дождевой воды реализован на законодательно обязательной основе.

Китай активно развивает практику «губчатых городов», смысл которой заключается в том, что дождевые воды попадают в городскую среду, где они фильтруются и затем используются, при этом применяются зелёные зоны, водоудерживающие покрытия и искусственные водоёмы. Это особенно важно с учетом масштабов Китая, так как здесь существует большой потенциальный риск городских наводнений.

Общие тенденции мирового опыта. Изучение зарубежных примеров позволяет отметить следующие общие тренды: переход от направления вод к их собиранию и использованию; применение зеленой инфраструктуры; включение цифровых технологий в управление; регулирование со стороны государства и оказание поддержки [1, 4].

Для Казахстана проблема вододефицита особенно актуальна. Особенности: неравномерное распределение осадков; рост городов; изношенность инфраструктуры. Возможности внедрения: использование дождевой воды в частном секторе и инфильтрационные системы.

Таким образом, использование современных технологий управления дождевыми и сточными водами является важным шагом на пути к устойчивому развитию и рациональному использованию природных ресурсов.

Выводы

Рациональное использование дождевых стоков становится все более актуальным в условиях нарастающего дефицита водных ресурсов и изменения климата. Современные технологии позволяют не только эффективно собирать и очищать дождевую воду, но и интегрировать её в повседневное использование, снижая нагрузку на традиционные источники водоснабжения. Интеллектуальные системы управления, оснащённые датчиками и программными алгоритмами, обеспечивают оптимальное использование накопленной воды с учётом текущих погодных условий и потребностей. Комплексный подход, объединяющий механические, биологические и цифровые решения, представляет собой перспективное направление повышения устойчивости водного хозяйства и рационального использования дождевых стоков в городских и сельских условиях.

Литература:

1. СН РК 4.01-03-2013. Наружные сети и сооружения водоснабжения и водоотведения. – Астана: Комитет по делам строительства и ЖКХ РК, 2013.
2. СП РК 4.01-103-2013. Наружные сети и сооружения водоснабжения и канализации. – Астана, 2013.
3. Водный кодекс Республики Казахстан. – Астана, 2023.
4. Бекенова Л.М., Штыкова И.В., Кузьмина Н.А. Применение инновационных технологий в области очистки сточных вод: зарубежный и казахстанский опыт // Статистика, учет и аудит. – 2024. – №3(94). – С. 176–192.
5. Кудайбергенова Р.М. Современные технологии очистки сточных вод // Химия и технология. – 2025.
6. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). The United Nations World Water Development Report 2018. <https://www.cawater-info.net/library/eng/wwdr/wwdr2018.pdf>

7. United States Environmental Protection Agency (EPA). Rainwater Harvesting and Water Reuse Guidelines. <https://www.epa.gov/waterreuse>
8. International Water Association (IWA). Water Reuse: An International Survey. <https://www.researchgate.net/publication/230887816>
9. World Health Organization (WHO). Guidelines for the Safe Use of Wastewater. <https://www.who.int/publications/i/item/9241546824>
10. CIRIA. The SuDS Manual (C753). https://www.susdrain.org/resources/SuDS_Manual.html

ӘОЖ 628.16

Болат Н.М., ХБК (КазБСҚА)ВК-24-1* тобы студ.
Жангужинов А.Е., ХБК (КазБСҚА) қауымд.проф.

ТАБИҒИ СУДЫ ТАЗАРТУДА НАНОТЕХНОЛОГИЯНЫ ҚОЛДАНУ

Бұл мақалада ауыз суды тазарту саласындағы нанотехнологиялық тәсілдер, әсіресе графен және графен оксиді негізіндегі мембраналық құрылымдар сараланды. Қазақстанның ерекшеліктерін ескере отырып, бұл технологияны қолданудың практикалық мүмкіндіктері зерттелді. Бұл шолу мақаласы ауыз суды тазарту саласына тиімді материалдар ұсынып, жаһандық су тапшылығы мәселесін шешуге өз үлесін қосуды мақсат тұтады.

Түйін сөздер: наноматериалдар, суды тазарту, графен, мембрана, тұщыландыру, нанотехнология

В данной работе рассмотрены нанотехнологические подходы к очистке питьевой воды, особое внимание уделено мембранным материалам на основе графена и оксида графена. С учетом природно-климатических и экологических условий Казахстана проанализированы перспективы практического внедрения указанных технологий. Представленный обзор направлен на внедрение эффективных материалов в сферу водоподготовки и решение проблемы глобального дефицита пресной воды.

Ключевые слова: наноматериалы, очистка воды, графен, мембрана, опреснение, нанотехнологии

This paper discusses nanotechnology-based approaches for drinking water treatment, with a particular focus on membrane materials derived from graphene and graphene oxide. Taking into account the natural, climatic, and environmental conditions of Kazakhstan, the prospects for practical implementation of these technologies are analyzed. This review aims to introduce effective materials into the water treatment sector and contribute to addressing the global challenge of freshwater scarcity.

Keywords: nanomaterials, water purification, graphene, membrane, desalination, nanotechnology

Кіріспе

Таза ауыз суға қол жеткізу – әр адамның базалық құқығы. Алайда жаһандық су тапшылығы мен ластану мәселелері бұл құқықты жүзеге асыруды күннен-күнге қиындатып отыр [1]. Дегенмен, бұл көрсеткіш алдауы мүмкін, өйткені тұщы су ресурстарының үлесі өте аз. Қазіргі таңда тұщы су көздерінің сарқылуы адамзат қызметіне тікелей қауіп төндіруде. Қолданыстағы су тазарту жүйелері өсіп келе жатқан сұранысты толық қанағаттандыра алмайды..

Судың жалпы мөлшеріне қарасақ, табиғат бізге шынымен молшылық сыйлаған. Ол жер астында, мұхиттарда, өзен-көлдерде, тіпті атмосфера мен тірі ағзалардың құрамында бар. Алайда бұл байлықтың басым бөлігі – тұзды су. Оның үлесі 96,5%-ды құрайды. Ал адам өмірі мен экожүйенің тұрақтылығы тәуелді болатын тұщы су баржоғы 3,5%-ды ғана алып жатыр.

Осы аз ғана тұщы судың ішіндегі ең үлкен қор – мұздықтар (68%) және жер асты сулары (30%). Өзендер, көлдер мен бұлақтарға небәрі 2% тиесілі. Есептей келе, адамзаттың пайдалануына қолжетімді су көлемі жалпы қордың 0,5-1% шамасында ғана екенін көреміз. Осы шағын пайыз тіршілігіміздің кілті іспетті [1].



1-сурет– Жылдық тұщы суды алу.

Әлемде таза ауыз су тапшылығы күшейген сайын, суды тазарту саласындағы технологиялық шешімдерге деген сұраныс артып келеді. Қолжетімді бағадағы және энергияны аз тұтынатын тәсілдерді енгізу үшін тұрақты дамуға бағытталған жаңашылдықтар қажет [2, 3].

Осы тұрғыда нанотехнологиялар ұзақ мерзімге бағдарланған мүмкіндіктер ұсынады. Олардың арқасында сүзгілеуге арналған материалдарды жетілдіруге, тазартылған судың сапалық көрсеткіштерін көтеруге және шығынды төмендетуге жол ашылады.

Бұл бағыттағы жетістіктерде наноөлшемді элементтер (100 нанометрден кіші мөлшердегі құрылымдар) басты рөлге ие. Көміртекті нанотүтікшелер (CNT) және графен оксиді (GO) секілді заттардың суды тазарту кезіндегі тиімділігі олардың ерекше қасиеттерімен түсіндіріледі [4, 5]. Бұл қасиеттердің ішіндегі ең маңыздылары – жоғары дәрежедегі кеуектілік пен реакцияға түсу белсенділігі. Осы екі фактордың арқасында олар су құрамындағы микробтарды, органикалық ластағыштарды, ауыр металдарды және вирустарды тиімді түрде ұстап қалады. Сондықтан мұндай материалдар су тапшылығы мәселесін шешуге арналған сүзгі жүйелерінде өте құнды болып есептеледі.

Дәстүрлі Тұщы Су Алу Әдістері. Тұщыландырудың жалпы сипаттамасы.

Тұщыландыру – құрамында тұз мөлшері жоғары судан тұзды құрамдас бөліктер мен әртүрлі қоспаларды бөліп шығару арқылы оны ауыз суға, өнеркәсіптік мақсаттарға немесе егістік алқаптарын суаруға жарамды ететін техникалық үдеріс [2, 3]. Қазіргі кезеңде әлемнің көптеген мемлекеттерінде тұщыландыру қондырғылары сәтті жұмыс істеуде.

Таза су қорларының жетіспеушілігі әсіресе қуаң және шөлге жақын аймақтарда өте өткір сезіледі. Мұндай өңірлерде жауын-шашын мөлшерінің шамалы болуы жер бетіндегі және жер астындағы су көздерінің шектеулі қалыптасуына себеп болады. Осындай жағдайларда тұщыландыру сумен қамтамасыз етудің сенімді және тұрақты көзі ретінде қызмет атқарады.

Кері осмос технологиясының жұмыс істеу принципі

Кері осмос (RO) – табиғи осмостың кері бағытына негізделген мембраналық әдіс. Табиғи жағдайда су концентрациясы төмен ортадан жоғары ортаға қарай қозғалса, кері осмоста бұл үдеріс сыртқы қысым күшінің әсерімен қарама-қарсы бағытта жүзеге асырылады.

Бұл технологияның негізгі элементі – өте жіңішке кеуектері бар жартылай өткізгіш мембрана. Аталған мембранадағы тесіктердің диаметрі шамамен 0,0001 мкм (0,1 нанометр) шамасында. Мұндай мембрана арқылы теңіз суы жоғары қысыммен өткізіледі. Қысымның әсерінен су молекулалары ғана мембрана кеуектерінен өте алады, ал еріген тұздар, бактериялар, вирустар және өзге де ластағыштар мембрана бетінде ұсталып қалады.

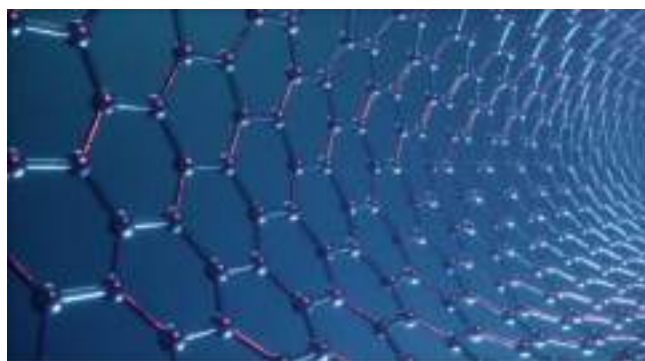
Осылайша, нәтижесінде екі түрлі ағын пайда болады: біріншісі – жоғары дәрежеде тазартылған өнімді су, екіншісі – құрамында ластаушы компоненттер мен тұздар шоғырланған концентрат (брин).

Наноматериалдар деп төменнен жоғары технологиясы арқылы нанометрлік деңгейде, яғни 1-ден 100 нанометрге дейінгі өлшемде синтезделетін инновациялық құрылымдарды айтады. Мұндай материалдардың қасиеттері сол заттардың ірі масштабтағы үлгілерінен елеулі түрде өзгеше болуы мүмкін. Нанотехнологияларды пайдалану инженерлік салалардың әртүрлі бағыттарында, әсіресе суды тазарту секторында зор мүмкіндіктерге ие екенін көрсетті. Суды тазарту саласында нанотехнологияларды қолдану аясы жылдам кеңейіп, әлемдік деңгейде ғалымдардың, мемлекеттік органдардың және өнеркәсіп саласы өкілдерінің назарын өзіне аударуда [4].

Ауыз судағы зиянды қоспалардан құтылудың ең үнемді және қарапайым жолдарының бірі ретінде адсорбция процесі саналады. Көміртекті нанотүтікшелер, графен, сондай-ақ олардың негізінде алынатын графен оксиді мен көміртекті наноталшықтар секілді көміртектен жасалған наноматериалдар ластаған ауыз суды тазарту ісінде қолдануға болатын зор мүмкіндіктерге ие.

Су тұщыландыруға арналған графенді наноматериалдар [5].

Графен деп бір атом қалыңдығындағы sp^2 -гибридтелген көміртегі атомдарынан құралған екі өлшемді (2D) жазық құрылымды атайды. Бұл материал физикалық, механикалық, жылулық және оптикалық тұрғыдан ерекше сипаттамаларға ие.



2-сурет – Графендер.

Суды бөлу үдерісіндегі графеннің маңызы

Суды бөлу процестерін қарастырғанда, графеннің атомдық қалыңдығы оның басты артықшылығы ретінде көрінеді. Бұл ерекшелік оның сұйықтықтарды өткізу қабілетін айтарлықтай жоғарылатады – мұндай көрсеткіштер көптеген кәсіптік нанофилттра-

циялық мембраналардан бірнеше есе жоғары. Осының нәтижесінде энергия үнемдеу және экономикалық тиімділікке қол жеткізу мүмкіндігі туындайды.

Сонымен қатар, графен қабатының берік құрылымындағы наноөлшемді тесіктер арқылы немесе көршілес графен қабаттары арасында пайда болатын екі өлшемді наноканалдар арқылы өлшемдік селективтілікпен тасымалдау үлкен үміт күттіреді. Тұщыландыруға арналған графен негізіндегі мембраналарды дайындау процесі де технологиялық тұрғыдан қиындық тудырмайды.

Бір қабатты графенді мембраналар

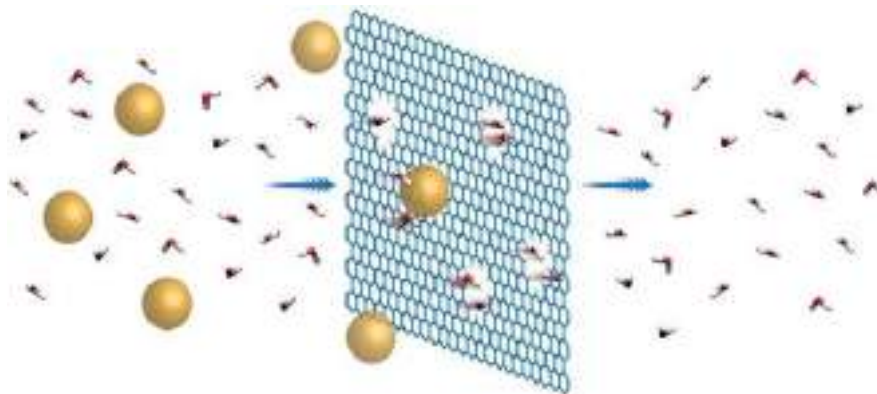
Таза графенде π -орбитальдардан түзілген тығыз және орнықсызданған электронды бұлт ароматты сақиналар арасындағы бос орындарды толтырады. Бұл құбылыстың нәтижесінде графен сұйықтықтарды өткізбейтін қасиетке ие болады.

Дегенмен, жүргізілген модельдеу жұмыстары көрсеткендей, графен құрылымына өлшемі, тығыздығы және функционалдық сипаттамалары бақыланатын кеуектерді енгізу арқылы бұл материалдан жасалған мембраналар қазіргі қолданыстағы тұщыландыру мембраналарынан асып түсе алады. Олар бірнеше есе жоғары өткізгіштік пен таңдамалылық көрсетеді.

Молекулалық-динамикалық модельдеулер **нанокеуекті графеннің** су ағынының өте жоғары жылдамдығына ($66 \text{ л} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{тәу}^{-1} \cdot \text{МПа}^{-1}$ дейін) және тұзды ұстап қалудың жоғары деңгейіне ($>99\%$) қол жеткізе алатынын көрсетті. Бұл көрсеткіштер оны суды тұщыландыру үшін ең перспективалы материалдардың біріне айналдырады.

Графеннің су өткізгіштігінің ерекше жоғары болуының басты себебі – оның атомдық қалыңдығы. Бұл қасиет тұщыландыру қондырғыларын салуға кететін бастапқы капиталдық шығындарды және одан кейінгі пайдалану шығындарын айтарлықтай төмендетуге мүмкіндік береді.

Графен құрылымында өлшемі, тығыздығы және функционалдық сипаты бақыланатын кеуектерді жасау арқылы жоғары таңдамалылық пен жоғары өткізгіштікті қатар ұштастыратын мембраналарды әзірлеуге жол ашылады. Осындай артықшылықтар ғалымдардың назарын графеннің сүзу мүмкіндіктерін эксперименттік зерттеулер мен компьютерлік модельдеулер арқылы тереңірек зерделеуге аударды.



3-сурет – Графендер құрылымы.

Бұл процесте тұзды су (сол жақта) жоғары қысымның әсеріне ұшырап, екі бөлікке бөлінеді: мембрана арқылы өтетін су молекулалары (қызыл және ақ түспен көрсетілген) (оң жақта) және бөгелетін тұз иондары (алтын түсті шарлар).

Графенді суды тазарту саласындағы мультифункционалды материал деп атасам артық кетпеспің. Бұл материал бір уақытта бірнеше маңызды қызметті атқара алады.

Ол тұзды кетіру арқылы тұщыландыру үдерісін жүзеге асырады, қорғасын, кадмий және сынап сияқты ауыр металдарды жоғары тиімділікпен ұстап қалады, бактерияларды залалсыздандырады, сондай-ақ бояғыштар мен улы химиялық қосылыстарды су құрамынан шығаруға мүмкіндік береді.

Қазақстанда практикада қолдану

Каспий теңізі жағалауында қолданылуы

Каспий теңізі – әлемдегі ең ірі тұйық су айдыны болып саналады [6,8]. Бұл су қоймасының тұздылық деңгейі 10–13‰ аралығында, ал мұхит суында бұл көрсеткіш 35‰ шамасында екенін ескерсек, Каспий суының тұздылығы салыстырмалы түрде төмен. Ақтау және Атырау қалалары Каспий жағалауында орналасқан және тұщы су тапшылығын өткір сезінуде және мұнай өнімдерінен тазарту үшін қолдануға болады.

Арал маңы аймағында қолданылуы.

Арал теңізінің құрғауы – Қазақстан үшін өзекті экологиялық мәселелердің біріне айналған [7]. Су көлемінің азаюы салдарынан қалған су айдынының тұздылығы күрт өскен, қазіргі уақытта бұл көрсеткіш 50–80‰-ге дейін жеткен. Графен негізіндегі материалдарды тұщыландырудан бөлек бірнеше бағытта пайдалануға болады. Топырақ пен жер асты суларын тұзданудан тазарту барысында графен оксиді тұз иондарын сіңірсе, графендік мембраналар ауыр металдарды (мышьяк, қорғасын, кадмий) ұстап қалады.

Балхаш көлінде қолданылуы

Балхаш көлі – Қазақстандағы ең ірі су айдындарының бірі. Көлдің батыс бөлігі тұзды (5–6‰), шығыс бөлігі тұщы. Бірақ басты проблема – ауыр металдармен ластану [6]. Көл жағасында «Балқашмыс» кәсіпорны орналасқан. Зауыт жылына 70 мың тоннадан астам зиянды заттарды ауаға шығарады, оның ішінде мыс, мырыш және басқа улы элементтер бар. Ластаушы заттар өзендер арқылы да, ауыл шаруашылығы тыңайтқыштары, пестицидтер және коммуналдық қалдық сулар арқылы да көлге түседі. Графен негізіндегі материалдар бұл мәселені шешуге тиімді. Графен оксиді мен графендік мембраналар мыс, мырыш, қорғасын, кадмий сияқты ауыр металдарды ұстап қалады.

Өнеркәсіптік қалдық суларды тұщыландыруда қолданылуы

Қазақстан тау-кен өндірісі мен металлургия салалары дамыған елдер қатарына жатады. Бұл салалардағы өндірістік үдерістер үлкен көлемде суды пайдаланады және құрамында ауыр металдар мен улы қосылыстары бар қалдық сулардың түзілуіне себеп болады. Графендік мембраналардың көпфункционалдық қасиеттері тұз иондарын 99 пайыздан астам ұстап қалуға, қорғасын, кадмий, сынап сияқты ауыр металдарды тиімді бөліп алуға, сондай-ақ күміс нанобөлшектерімен композиттік құрамда бактериялар мен вирустарды жоюға мүмкіндік береді. Бұл технологиялық шешімдер өндірісте суды қайта пайдалану айналымын ұйымдастыруға, қоршаған ортаға түсетін зиянды ағындыларды азайтуға және су ресурстарын үнемдеуге жол ашады.

Проблемалар мен шектеулер

Графен негізіндегі мембраналар тұщыландыру саласында жоғары нәтижелер көрсеткенімен, оларды өнеркәсіптік деңгейде кеңінен қолдануға кедергі келтіретін [4,5].

Бірқатар маңызды проблемалар әлі де шешімін таппай отыр. Ғылыми әдебиеттерге жүргізілген талдау нәтижесінде бұл мәселелерді бірнеше негізгі бағытқа топтастыруға болады. Масштаптау мәселесі қазіргі таңдағы ең күрделі кедергілердің бірі болып табылады. Зертханалық жағдайда шағын аумақта, бірнеше шаршы сантиметрден аспайтын көлемде өте жоғары тиімділік көрсететін мембраналар алынғанымен, үлкен аумақты және ақаусыз мембраналарды өнеркәсіптік деңгейде шығару әлі де шешімін таппаған. Суда ісіну проблемасы графен оксиді мембраналарының ең маңызды кем-

шіліктерінің бірі саналады. Бұл мембраналар суға ұзақ уақыт түскенде қабаттар арасындағы саңылаулар айтарлықтай ұлғаяды. Ұзақ мерзімді тұрақтылық мәселесі де графен мембраналарын кеңінен енгізу жолындағы маңызды кедергілердің бірі болып отыр. Нақты жұмыс жағдайында мембраналардың 3–5 жыл және одан да ұзақ уақыт бойы өз қасиеттерін сақтай алатындығы әлі толық зерттелмеген. Бұдан басқа, графен наноматериалдарының экожүйеге және адам денсаулығына әсері әлі жеткілікті зерттелмеген. Осылайша, графен мембраналарының жоғары тиімділігіне қарамастан, оларды кеңінен өнеркәсіптік қолданысқа енгізу үшін масштабтау және ұзақ мерзімді тұрақтылық мәселелерін шешу қажет. Бұл мәселелердің шешімі жақын болашақта табылады деп күтілуде.

Графен мембраналарын Қазақстанда қолдану болашағы

Графен негізінде жасалған мембраналар суды тұщыландыру саласындағы ең үмітті бағыттардың бірі ретінде бағалануда. Назарбаев Университетінің зерттеушілері [9] анықтағандай, молекулалық динамикалық модельдеу мен машиналық оқыту әдістерін ұштастыру арқылы мембраналарды жобалау тиімділігін елеулі түрде арттыруға болады. Графенді көміртекті нанотүтікшелермен және күміс нанобөлшектерімен қосылып жасалған гибридік мембраналардың механикалық беріктігі мен ластануға қарсы тұрақтылығы айтарлықтай жоғарылайды. Өндіріс шығындарын азайту мақсатында ауыл шаруашылығы қалдықтарынан графен алу әдісі қазіргі уақытта қарқынды дамытылып жатыр. Қазақстанда графендік мембраналарды пайдаланудың бірнеше бағыты көзделуде. Атап айтқанда, Каспий теңізінің суын тұщыландыру, Арал өңіріндегі тұрғындарды ауыз сумен қамтамасыз ету және Балхаш көлі аймағындағы өндірістік ағындылардағы ауыр металдарды сүзіп алу мәселелері қарастырылуда. Технологияны кең көлемде енгізу бірнеше кезеңнен тұрады. 2026–2028 жылдары пилоттық қондырғыларды әзірлеу жоспарланса, 2028–2030 жылдары тәжірибелік үлгілерді орнату көзделуде. 2030–2035 жылдары өнеркәсіптік қуаттағы қондырғыларды салу жоспарлануда.

Қорытынды

Наноөлшемді құрылымдарға тән ерекшеліктер дәстүрлі әдістермен салыстырғанда су өткізу қабілеті мен энергия үнемдеу тиімділігін айтарлықтай арттыруға жағдай жасайды. Дегенмен, бұл технологияны кең ауқымда пайдалануға кедергі болып отырған өндірісті үлкейтудегі қиындықтар, материалдардың суға ұзақ әсер еткенде ісінуі және ұзақ мерзімді тұрақтылық мәселелері әлі күнге дейін шешілмей келеді. Осы міндеттерді жүзеге асыру барысында жасанды интеллект пен молекулалық модельдеуді ұштастыру бағытында ғылыми-зерттеу жұмыстары жүргізілуде. Қазақстан үшін нанотехнологиялық шешімдердің орны ерекше. Мұндай технологиялар Каспий теңізі жағалауындағы қалаларды, Арал өңіріндегі елді мекендерді және Балхаш көлі маңындағы аумақтарды ауыз сумен қамтамасыз ету мәселелерін шешудің тиімді тәсілі ретінде қарастырылуда. Қорыта келгенде, нанотехнология саласындағы ғылыми жетістіктер мен өндірістік масштабтау мәселелерінің шешімі жақын арада табылады деген болжам бар. Бұл бағыт су тапшылығы жағдайында ауыз сумен қамтамасыз етудің жаңа мүмкіндіктерін ашады.

Әдебиеттер:

1. *Water Use and Stress // Our World in Data.* – URL: <https://ourworldindata.org/water-use-stress> (дәмау обращения: 01.04.2026).
2. *A mini-review on the use of high-pressure reverse osmosis (HPRO) in desalination and water treatment // Desalination.* – 2026. – Vol. 620. – Article 119618. – DOI: 10.1016/j.desal.2025.119618. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916425010951>

3. *A global outlook of the desalination industry and state-of-the-art technologies for brine valorisation // Desalination. – 2026. – Vol. 621. – Article 119718. – DOI: 10.1016/j.desal.2025.119718. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916425011956>*
4. *Abdullah H. Membrane Physics of Carbon-Based Materials: Fundamentals, Fabrication, and Applications / H. Abdullah. – Singapore: Springer, 2026. – 320 p. – DOI: 10.1007/978-981-95-5605-2. – ISBN 978-981-95-5605-2.*
5. *Graphene membranes for water desalination // NPG Asia Materials. – 2025. – Vol. 17. – Article 25. – URL: <https://www.nature.com/articles/s41427-025-00625-8>*
6. *Атырау облысында қос өзен мен Каспий теңізінің тартылуына байланысты төтенше жағдай жарияланды // BAQ.kz. – 2025. – 25 қыркүйек. – URL: <https://baq.kz/amp/news/othernews/atyrau-oblysynda-qos-ozen-men-kaspiy-tenizinin-tartyluyna-baylanysty-totenshe-zhagday-zhariyalandy-200020984/> (дата обращения: 01.04.2026).*
7. *Crétau J.-F., Kostianoy A. G., Bergé-Nguyen M., Lebedev S.A. Water volume change in the Caspian Sea and the Aral Sea from satellite altimetry and in situ data // HAL Open Science. – 2014. – hal-03287735. – URL: <https://amu.hal.science/hal-03287735v1> (дата обращения: 01.04.2026).*
8. *Каспий теңізі // Уикипедия. – URL: <https://kk.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения: 01.04.2026).*
9. *Machine Learning-Assisted Design of Membranes for Wastewater Treatment, Desalination and Gas-Separation / Nazarbayev University; рук. К. Kostas. – Astana, 2025–2027. – Грант № 040225FD4734. – URL: <https://research.nu.edu.kz/en/projects/machine-learning-assisted-design-of-membranes-for-wastewater-trea> (дата обращения: 01.04.2026).*

ӘОЖ 577.4

Ғайнуллаұлы Р., ХБК (ҚазБСҚА) ВИПиУ 23-1 тобы студенті
Қасабекова Г.Т., ХБК (ҚазБСҚА) профессор-ассистенті

ӘСКЕРИ БӨЛІМДЕРДІ ДАЛА ЖАҒДАЙЫНДА ТҰРАҚТЫ СУМЕН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ ЖҮЙЕЛЕРІН ҰЙЫМДАСТЫРУ

Мақалада әскери инфрақұрылымды дала жағдайында сумен қамтамасыз ету мәселелері қарастырылады. Жерасты сулары негізгі су көзі ретінде талданып, оларды алу және пайдалану әдістері сипатталады. Сондай-ақ суды тазартудың заманауи технологиялары мен автономды мобильді су модулі ұсынылған. Зерттеу нәтижелері дала жағдайында су қамтамасыз ету тиімділігін арттыруға бағытталған.

Түйін сөздер: *әскери инфрақұрылым, сумен қамтамасыз ету, жерасты сулары, су тазарту, мобильді жүйе, автономды модуль, дала жағдайы.*

В статье рассматриваются вопросы водоснабжения военной инфраструктуры в полевых условиях. Подземные воды проанализированы как основной источник, описаны методы их добычи и использования. Также представлены современные технологии очистки воды и автономный мобильный модуль. Результаты направлены на повышение эффективности водоснабжения.

Ключевые слова: *военная инфраструктура, водоснабжение, подземные воды, очистка воды, мобильные системы, автономный модуль, полевые условия.*

The article discusses water supply for military infrastructure in field conditions. Groundwater is analyzed as the main source, and methods of its extraction and use are described. Modern water treatment technologies and an autonomous mobile module are also presented. The results aim to improve water supply efficiency in field conditions.

Keywords: *military infrastructure, water supply, groundwater, water treatment, mobile systems, autonomous module, field conditions.*

Кіріспе

Қазіргі заманғы әскери операциялар жағдайында бөлімдерді үздіксіз және сапалы сумен қамтамасыз ету – жауынгерлік дайындықтың, жеке құрамның денсаулығы мен өмір сүру қабілеттілігінің негізгі факторларының бірі болып табылады [1, 2]. Су тек тұрмыстық қажеттілік қана емес, сонымен қатар санитарлық-гигиеналық талаптарды сақтау, тамақ дайындау, медициналық қамтамасыз ету және техникалық мақсаттар үшін де аса маңызды ресурс болып табылады.

Әсіресе Қазақстан Республикасының географиялық ерекшеліктерін ескерсек, яғни кең байтақ аумақтар, шөлейт және құрғақ дала аймақтарының басым болуы, көптеген өңірлерде ашық су көздерінің жетіспеушілігі немесе олардың сапасының төмен болуы әскери бөлімдерді сумен қамтамасыз ету мәселесін күрделендіреді. Мұндай жағдайларда орталықтандырылған су жүйелеріне тәуелді болу мүмкін емес, сондықтан автономды және мобильді су қамтамасыз ету жүйелерін қолдану қажеттілігі артады [2].

Қазіргі таңда әскери инженерлік қызметтің басты міндеттерінің бірі – кез келген жағдайда сенімді, тиімді және жедел іске қосылатын су қамтамасыз ету жүйелерін ұйымдастыру болып табылады. Бұл міндетті орындау үшін гидрогеологиялық барлау, жер асты суларын пайдалану, заманауи су тазарту технологияларын енгізу және мобильді инженерлік құрылғыларды қолдану кеңінен дамуда.

Осыған байланысты, әскери инфрақұрылымда автономды, жоғары тиімді және тасымалдауға ыңғайлы сумен жабдықтау жүйелерін әзірлеу мен жетілдіру өзекті ғылыми және практикалық мәселе болып табылады. Бұл бағыттағы зерттеулер әскери бөлімдердің дала жағдайындағы тұрақтылығын арттыруға, ресурстарды үнемді пайдалануға және төтенше жағдайларда жедел әрекет ету мүмкіндігін күшейтуге бағытталған.

1. Дала жағдайындағы негізгі су көздері

1.1 Гидрогеологиялық және инженерлік барлау [3]

Әскери бөлімдерді сумен қамтамасыз етудің алғашқы кезеңі – су көздерін анықтау. Бұл мақсатта гидрогеологиялық және инженерлік барлау жұмыстары жүргізіледі. Негізгі қолданылатын әдістер:

Жер үсті сулары – өзендер, көлдер, су қоймалары. Бұл су көздері қолжетімді болғанымен, көбіне ластанған болып келеді және міндетті түрде тазартуды талап етеді.

Жер асты сулары – негізгі әрі сенімді су көзі. Оларды алу үшін инженерлік әскерлер жылжымалы бұрғылау қондырғыларын пайдаланып, 50-200 метр тереңдіктен су шығарады.

Су шығару (бұрғылау) техникасы:

ПБУ-50 (передвижная буровая установка) – 50 метрге дейінгі тереңдікте ұңғыма қазуға арналған жылжымалы қондырғы [1, 2].

УРБ (установка разведочного бурения) – 100-200 метр тереңдіктен су алуға мүмкіндік беретін қуатты бұрғылау техникасы.

Шахталық құдықтар – тез қазылатын, қарапайым сүзгілермен жабдықталған уақытша су алу нүктелері.

1.2 Суды тазартудың заманауи технологиялары (мобильді модульдер) [5,6]

Қазіргі әскери жағдайда суды сапалы тазарту үшін жоғары технологиялық қондырғылар кеңінен қолданылады:

МABOY (мобильді автофильтрлеу станциясы) – суды механикалық қоспалардан, бактериялардан, сондай-ақ химиялық және радиациялық ластанудан тазартатын кешенді жүйе.

Кері осмос (Reverse Osmosis) – тұзды және қатты ластанған суды молекулалық деңгейде тазарту әдісі, теңіз суын тұщытуға мүмкіндік береді.

Ультрафиолетті сәулелену – химиялық реагенттерсіз суды микроағзалардан жылдам залалсыздандыру тәсілі.

1.3. Тасымалдау және сақтау жүйелері

Алынған суды сақтау мен тасымалдау – сумен қамтамасыз етудің маңызды кезеңі: РДВ (резервуар для воды) – мата-резеңкеден жасалған жұмсақ сыйымдылықтар (100 литрден 50 тоннаға дейін), тез орналастырылады және тасымалдауға ыңғайлы [1,5].

Контейнерлік жүйелер – су сақтау, жылыту және сүзгілеу функциялары бар металл контейнерлер.

1.4. Экстремалды әдістер (тірі қалу тактикасы) [5]

Арнайы техника болмаған жағдайда жеке құрам келесі әдістерді қолданады:

Конденсация (solar still) – күн энергиясын пайдаланып, топырақ пен өсімдіктерден ылғал алу әдісі.

Жеке сүзгілер (Lifestraw типті) – суды тікелей табиғи көздерден ішуге мүмкіндік беретін портативті құралдар.

Химиялық таблеткалар (Аква tabs, Пантоцид) – суды қысқа уақыт ішінде микробтардан тазартуға арналған құралдар.



1-сурет – Су барлауынан тазартуға дейін: Әскери-инженерлік цикл.

2. Мобильді автономды су модулі (МАСМ)

Мобильді автономды су модулі (МАСМ) – орталықтандырылған су жүйелері жоқ аймақтарда суды алу, тазарту және сақтау үшін қолданылатын жылжымалы инженерлік құрылғы. Мұндай модульдер әскери мақсаттарда, төтенше жағдайларда, құрылыс алаңдарында және шалғай елді мекендерде ауыз сумен қамтамасыз ету үшін кеңінен пайдаланылады. МАСМ-ның басты артықшылығы – су көзін анықтау, оны өндіру, тазарту және тұтынушыларға жеткізу процестерін бір жүйеге біріктіруінде.

2.1. Су тазарту станциялары [4, 5]

Дала жағдайында қолданылатын су тазарту станциялары табиғи су көздерінен (өзен, көл, батпақ) алынған суды ішуге жарамды деңгейге дейін жеткізеді. Осындай заманауи кешендердің бірі – СКО-10 «Гигиена» станциясы.

СКО-10 «Гигиена» – табиғи су көздерінен алынған суды кешенді тазартуға арналған жылжымалы станция. Ол суды механикалық қоспалардан ғана емес, сонымен қатар улы заттардан, бактериялардан, вирустардан және радионуклидтерден тиімді тазартады.

Негізгі техникалық сипаттамалары:

- Өнімділігі: сағатына 8-10 м³ таза су;
- Тазарту деңгейі: механикалық, химиялық және биологиялық ластағыштардан толық тазарту;
- Автономдылығы: бір реттік материалдармен кемінде 100 сағат үздіксіз жұмыс;
- Өрістету уақыты: шамамен 36 минут;
- Қызмет көрсету: 3 адамнан тұратын есеп.

Станцияның негізгі ерекшеліктері:

1. Ультракүлгінмен зарарсыздандыру – суды микроағзалардан тиімді қорғау (ресурсы 4000–8000 сағат).
2. Жоғары ұтқырлық – жүк көліктерінің (КАМАЗ, Урал) базасында орнатылып, кез келген аймаққа жылдам жеткізіледі.
3. Жан-жақтылық – лайлылығы жоғары (2000 мг/л-ге дейін) суды да тиімді тазарту мүмкіндігі.

Аталған модульдер әскери бөлімдерді, сондай-ақ төтенше жағдай аймақтарындағы халықты жедел және сапалы ауыз сумен қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.



2-сурет – СКО-10 «Гигиена» – далалық жағдайдағы стратегиялық су қауіпсіздігі.

Қорытынды

Дала жағдайында әскерді сумен қамтамасыз ету – мемлекеттің қорғаныс қабілетін айқындайтын маңызды стратегиялық фактор. Гидрогеологиялық барлау мен бұрғылау қондырғылары жер асты суларын тиімді пайдалануға мүмкіндік беріп, бөлімдердің ав-

тономдылығын арттырады. Заманауи су тазарту станциялары кез келген су көзін қауіпсіз ауыз суға айналдырып, әскери қызметшілердің денсаулығын қорғауды қамтамасыз етеді.

Сонымен қатар, жеке құрамның тірі қалу дағдылары экстремалды жағдайларда маңызды рөл атқарады. Болашақта су жүйелері одан әрі мобильді және автоматтандырылған бағытта дамиды [5]. Жалпы, сенімді су қамтамасыз ету – әскердің тұрақтылығы мен тиімділігінің негізі.

Әдебиеттер:

1. Қазақстан Республикасының Қорғаныс министрлігі. Әскери инженерлік қамтамасыз ету бойынша нұсқаулықтар. – Астана, 2020.
2. Далалық сумен жабдықтау жүйелері бойынша оқу құралы. – Алматы: Әскери институт баспасы, 2018.
3. Құрманов Б.К. Гидрогеология негіздері. – Алматы, 2015.
4. SKO-10 «Гигиена» су тазарту станциясының техникалық сипаттамалары (өндіруші құжаттамасы). АҚШ армиясы. United States
5. Army Corps of Engineers. Field Water Supply Systems Manual. – Washington, 2016.
6. Reed S.C. Natural Systems for Waste Management and Treatment. – McGraw-Hill, 2010.

ӘОЖ 1.745/749 Қ.17

Есильбаева Ж., 6В07318-21/1 тобы студенті, Қазақ ұлттық су шаруашылығы және ирригация университеті (ҚазҰСШЖИУ)

Ногайбекова М.Т., аға оқытушы, Қазақ ұлттық су шаруашылығы және ирригация университеті (ҚазҰСШЖИУ)

ПАРИЖ ҚАЛАСЫНДАҒЫ ЛУВР МҰРАЖАЙЫНЫҢ ӨРТ ҚАУІПСІЗДІГІН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Бұл мақалада Париж қаласында орналасқан Лувр мұражайында өрт қауіпсіздігін ұйымдастырудың ерекшеліктері қарастырылады. Тарихи маңызы жоғары қоғамдық ғимаратта қазіргі заманғы қауіпсіздік технологияларын қолдану тәсілдері талданады. Экспозициялық құндылықтарда сақтау, адамдарды қауіпсіз көшіру және төтенше жағдайлардың алдын алу бағытындағы шаралар сипатталады.

Түйін сөздер: Лувр мұражайы, өрттің алдын алу жүйелері, қоғамдық нысандар, адамдарды қауіпсіз көшіру, мұражайлық құндылықтарды сақтау.

В данной статье исследуются особенности организации пожарной безопасности на примере музея Лувра, расположенного в городе Париже. Рассматриваются способы внедрения современных противопожарных и защитных технологий в здание, имеющие историческую ценность. Освещены вопросы сохранности экспонатов, безопасной эвакуации посетителей и предотвращения чрезвычайных ситуаций.

Ключевые слова: Лувр музей, противопожарная защита, общественные сооружения, безопасная эвакуация, сохранение музейных ценностей.

This study explores the specific aspects of fire safety organization using the Louvre Museum in Paris as a case study. The paper examines approaches to integrating advanced safety and fire prevention technologies into a historically significant public building. Particular attention is given to exhibit preservation, safe evacuation of occupants, and preventive measures against emergency situations.

Keywords: Louvre Museum, fire prevention systems, public facilities, safe evacuation, preservation of museum artifacts.

Кіріспе

Лувр мұражайы әлемдегі ең ірі қоғамдық ғимараттардың бірі болып табылады. Мұражайда мыңдаған тарихи және мәдени құндылығы жоғары экспонаттар сақталады, сондай-ақ күн сайын келушілер саны өте көп.

Алғашқы кезде Лувр мұражай орнында шағы шіркеу болған, онын орнына Франция патшалар Лувр бекініс және сарайынын құрылысы XII –XVIII ғ.ғ. арасында өтті. Бүгінгі кезде Лувр әлемге белгілі мұражайы және сәулеттік ескерткіш болып есептеледі. Алдыңғы жағынан төтенше жағдайда өрт сөндірушілер, құтқарушылар және дәрігерлік жедел жәрдем тиісті жұмысын атқаралады. Мұражайдың айналасынан мүмкіншілік бар аталған қызметкерлерге жұмыстарын орындауға. Құрылыстармен жабық кеністіктерде, ішкі қораларда көмек көрсету қиын болады төтенше жағдайда. Сена өзеннің жақындығы мұражайға төтенше жағдайда сумен қамтамасыз етеді [1].



1-сурет – Лувр мұражайы, жалпы көрініс.

Осыған байланысты өрт қауіпсіздігін қамтамасыз ету негізгі талаптардың бірі болып табылады.

Қоғамдық ғимараттарда өрт қауіпсіздігі сәулеттік жоспарлау шешімдерімен және инженерлік жүйелермен тығыз байланысты. Лувр мұражайында өрттің алдын алу үшін автоматты өрт дабылдары, түтін және жылу датчиктері орналастырылған. Бұл жүйелер арқылы өрт қаупін ерте кезеңде анықтауға мүмкіндік береді [2].

Негізгі бөлім

Мұражай кеңістігінде өрт қаупін бастапқы кезеңде анықтауға мүмкіндік беретін көпдеңгейлі автоматтандырылған бақылау кешені енгізілген. Аталған жүйе ауа құрамындағы түтін бөлшектерінің өте төмен деңгейін және жылу режиміндегі кенет ауытқуларды тіркеп, қауіпті жағдай анықталған сәттен бастап қысқа уақыт ішінде орталық диспетчерлік бөлімге хабарлама жібереді. Осындай жедел ақпарат алмасу өрттің кең аумаққа жайылуын болдырмай, ықтимал материалдық залалды едәуір төмендетуге жағдай жасайды [3].

Экспонаттарды қорғауда бейнебақылау жүйесінің рөлі ерекше. Мұражай аумағында тәулік бойы жұмыс істейтін жоғары дәлдіктегі камералар орнатылып, барлық залдар, дәліздер және кіріп-шығу нүктелері толық қамтылған. Бақылау камералары тек

қауіпсіздік мақсатында ғана мес, сонымен қатар өртке қауіпті жағдайларда ерте анықтау үшін де пайдаланылады. Мысалы түтіннің пайда болуы немесе адамдардың шұғыл қозғалысы бірден орталық басқару пунктінде тіркеледі [3].



2-сурет – Лувр мұражайында өрт қауіпсіздігіне арналған шаралар.

Лувр мұражайында өрт қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін құрылыс элементтері мен инженерлік жүйелер кешенді түрде қарастырылған. Есіктер эвакуация бағытымен, яғни сыртқа ашылады, көрші есіктер бір-бірін блоктамауы керек, отқа төзімді есіктер қарастырылған. Бұл есіктер жоғары температура әсеріне ұзақ уақыт шыдайды және өрт кезінде жалын мен түтіннің басқа залдарға таралуына тосқауыл болады. Төтенше жағдай кезінде өздігінен ашылып, адамдардың шұғыл қозғалысын қамтамасыз етеді [2].

Гимарат ішіндегі еден жабындары да өрт қауіпсіздігі талаптарына сай таңдалған. Экспозиция залдарында жанбайтын немесе отқа баяу тұтанатын материал қолданылып, түтін бөлу деңгейі барынша төмендетілген. Бұл шешім өрт кезінде улы газдардың таралуын бөлінуін азайтып, эвакуация уақытын ұлғайтуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар еден беттері сырғанауды болдырмайтын құрылымда орындарған, ол төтенше жағдайда адамдардың қауіпсіз әрі жылдам қозғалуына мүмкіндік береді [4].

Лувр мұражайы экспозициялық кеңістіктерінің ауқымдылығымен және мәдени-тарихи маңызы аса жоғары жәдігерлер санының көптігімен ерекшеленеді. Осы жағдайды ескере отырып, мұражайда су қолдануды қажет етпейтін өртті басу технологиялары басым түрде тоқтата тұрып, көркемдік туындыларға, мүсіндік нысандарға және витраж конструкцияларына залал келтірмейді. Мұндай жүйелер дәстүрлі су негізіндегі өрт сөндіру тәсілдерімен салыстырғанда мұражайлық құндылықтарды сақтау тұрғысынан әлдеқайда ұтымды болып есептеледі [3].

Қорытынды

Ғимараттың өрт қауіпсіздігін қамтамасыз етуде түтінді әкету мен ауа айналымын реттейтін жүйелер маңызды қызмет атқарады. Төтенше жағдай туындаған кезде түтін арнайы арналары арқылы автоматты түрде ғимарат сыртындағы кеңістікке бағытталады, ал эвакуациялық аймақтарына таза ауа жеткізіледі. Мұндай инженерлік шешім адамдардың қозғалыс бағытын айқын сақтауға және көшіру үдерісінің қауіпсіз жағдайда жүзеге асуына мүмкіндік береді [4].

Экспонаттарды сақтау мақсатында дәстүрлі су шашқыш жүйелердің орнына газды және тұманды өрт сөндіру технологиялары қолданылады. Мұндай әдістер өнер туындыларына физикалық зақым келтірмей, өртті тиімді сөндіруге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, ғимаратта отқа төзімді құрылыс материалдары мен әрлеу элементтері пайдаланылған [5].

Келушілер ғимараттан қауіпсіз шығуы үшін жарығы үздіксіз жұмыс жасайтын эвакуациялық дәліздер, төтенше жағдайда өздігінен ашылатын есіктер орнатылған. Мұражай қызметкерлері шұғыл жағдайда әрекет ету үшін жүйелі түрде арнайы оқытудан өтеді, бұл адамдар арасындағы үрейдің алдын алуға көмектеседі.

Нәтижесінде Лувр мұражайында өрт қауіпсіздігі жүйесі тарихи ғимаратты сақтай отырып, заманауи инженерлік және сәулеттік шешімдермен қамтамасыз етілген.

Әдебиеттер:

1. Габриеле Барти, Эберхарт Кенинг. Лувр. Искусство и архитектура. – Издательство: Копетанн, 2007. ISBN: 3-8331-1625-0, 3-8331-1425-8.
2. Тетиор А.Н. Архитектура и безопасность общественных зданий. – М.: Академия, 2018.
3. Брушлинский Н.Н. Пожарная безопасность зданий и сооружений. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2019.
4. Ассоциация «Безопасность туризма». Обеспечение пожарной безопасности музеев и фондохранилищ: Руководство (Методические рекомендации). – 2023.
5. Холщевников В.В. Инженерные системы противопожарной защиты зданий. – М.: Стройиздат, 2017.

УДК 628.1

Жирнова А.А., ст. гр. ИСИС-22р НАО КазННТУ им. К.И. Сатпаева
Сидорова Н.В., к.т.н., ассоц.проф. НАО КазННТУ им. К.И. Сатпаева
Халхабай Б., к.т.н., проф. НАО КазННТУ им. К.И. Сатпаева

ИССЛЕДОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЛЕКСНОГО КОАГУЛЯНТА ДЛЯ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ И СТОЧНЫХ ВОД ОТ СЕРОВОДОРОДА

В данной статье рассмотрены возможности применения железистых диаматов в качестве коагулянтов для очистки промышленных и сточных вод [1] от сероводорода.

Тестовые испытания комплексного коагулянта проводились на «Станции Аэрации» г.Алматы предприятия ГКП «Алматы СУ».

Ключевые слова: канализационные очистные сооружения, коагулянт, комплексный коагулянт, сероводород, станция аэрации.

Бұл мақалада өнеркәсіптік және ағынды суларды күкіртсутектен тазарту үшін коагулянт ретінде темір құрамды диаматтарды қолдану мүмкіндіктері қарастырылған.

Кешенді коагулянттың сынақтық зерттеулері Алматы қаласындағы «Алматы Су» МКК «Аэрация станциясында» жүргізілді.

Түйін сөздер: кәріздік тазарту құрылыстары, коагулянт, кешенді коагулянт, күкіртсутек, аэрация станциясы.

This article examines the possibilities of using iron-containing diamates as coagulants for the removal of hydrogen sulfide from industrial and wastewater.

Pilot tests of the complex coagulant were conducted at the Aeration Station in Almaty, operated by the municipal enterprise “Almaty Su”.

Keywords: wastewater treatment facilities, coagulant, complex coagulant, hydrogen sulfide, aeration station.

Испытания проходили 3 образца:

Под №1 – комплексный железосодержащий коагулянт;

Под №2 – $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – традиционный коагулянт;

Под №3 – $\text{NaFeO}_2 + \text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, в соотношении 1:1.

Из трех предложенных сухих образцов коагулянта, были приготовлены 1% растворы для коагуляции сточной воды.

Все образцы простояли 8 часов, после этого они использовались в качестве коагулянтов на городских сточных водах.



Рисунок 1 – Комплексный железосодержащий коагулянт.



Рисунок 2 – $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – традиционный коагулянт.



Рисунок 3 – $\text{NaFeO}_2 + \text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

На станции аэрации был произведен забор исходной воды перед отстойниками (рис. 4).

Первые испытания провели с коагулянт № 1, в 500 мл цилиндры была набрана исходная сточная вода, цилиндры пронумеровали 1, 2, 3, были определены концентрации дозы коагулянтов: 10 мг/л, 20 мг/л, 40 мг/л – соответственно (рис. 5). По методике пробного коагулирования [2] было проведено тестирование.

Наблюдение: 1 и 3 цилиндр коагуляция идет не активно, 2 цилиндр не на много, но процесс коагуляции более заметен. Через 30 минут отстаивания 1 и 2 цилиндры более прозрачные. Цилиндр № 3 более темный и в нем больше осадка, осадок темный.

Вторые испытания провели с коагулянт № 3, в 500мл цилиндры была набрана исходная сточная вода, цилиндры пронумеровали 4, 5, 6, были определены концентрации дозы коагулянтов: 10 мг/л, 20 мг/л, 40 мг/л – соответственно. По методике пробного коагулирования [2] было проведено тестирование.

Наблюдение: 4, 5, 6 цилиндры коагуляция идет не активно, 4 проба не на много, но процесс коагуляции более заметен. Через 30 минут отстаивания 4 и 5 цилиндры светлее по сравнению с 6 цилиндром. Проба № 6 более темная и в ней больше осадка, осадок темный. Результаты пробного коагулирования сведены в таблицу 1.

Показатели исходной воды: pH - 7.2, взвешенные вещества – 203 мг/л, H_2S – 3.89 мг/л, Fe – 5.72 мг/л.



Рисунок 4 – Отбор пробы сточных вод.



Рисунок 5 – Сточная вода с коагулянтами.

Таблица 1 – Результаты коагулирования

Показатели	1	2	3	4	5	6
pH	7.1	7.0	6.9	7.2	7.2	7.2
Взвешенные в-ва мг/л	196.0	190.0	320.0	172.0	197.0	203.0
Fe ²⁺ мг/л	5.85	5.65	5.49	5.50	5.85	6.57
H ₂ S мг/л	3.55	3.53	3.48	3.80	3.82	3.67

Таблица 2 – Влияние коагулянтов на снижение H₂S мг/л

№ цилиндра	Доза коагулянта мг/л	H ₂ S мг/л	снижение H ₂ S в %
Коагулянт №1			
1	10	3,55	9
	15	3,54	9,6
2	20	3,53	10
3	40	3,48	11
	60	3,4	12,6
Коагулянт № 3			
4	10	3,8	2.0
	15	3,81	1,9
5	20	3,82	1,8
6	40	3,67	5,7
	60	3,6	7,45

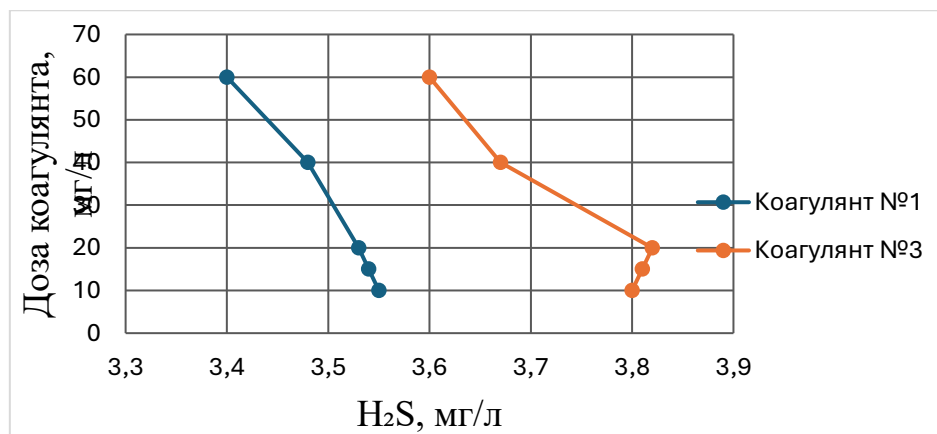


Рисунок 7 – График влияния коагулянта на снижение сероводорода.

Коагулянт № 1 в среднем снижает H_2S мг/л на 10.0%, при этом есть отрицательная сторона – он увеличивает осадок после коагуляции, т.к. сам не является полностью растворимым в воде [4].

Коагулянт № 3 в среднем снижает H_2S мг/л на 3.2%, при этом есть отрицательная сторона – он увеличивает осадок после коагуляции, т.к. сам не является полностью растворимым в воде [4].

Заключение

Разработанные коагулянты АО «Институтом металлургии и обогащения» на основе железистых диаматов были испытаны в качестве коагулянтов на станции «Аэрации» канализационных очистных сооружений г. Алматы, при очистке сточных вод от сероводорода.

Комплексный железосодержащий коагулянт представляет собой смесь феррита натрия, сульфата железа двухвалентного и диатомита. Диатомит представляет собой тонкодисперсную осадочную породу и является разновидностью кремнистого сырья. В испытаниях использовали пробу железистой разновидности диатомита месторождения Жалпак Актюбинской области. По результатам химического анализа пробы железистого диатомита содержание Fe составило 20%, а содержание соединений железа в пересчете на оксид железа в использованном диатомите составляет 29.03%.

По результатам исследований образец коагулянта № 1, под названием комплексный железосодержащий коагулянт, в среднем показал снижение сероводорода в исходной воде на 10.0%. Образец коагулянта № 3, $\text{NaFeO}_2 + \text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ -1:1, показал снижение сероводорода в исходной воде в среднем на 3.2%. Снижение концентрации сероводорода связано с окислительно-восстановительными и сорбционными процессами [3].

Оба образца плохо растворимы в воде, при увеличении дозы коагулянта увеличивается осадок сточных вод, за счет нерастворимых частиц самого коагулянта.

Разработанные коагулянты на основе железистых диаматов с содержанием железа 29%, исследованы на предмет использования их для очистки сточной воды, принципиально есть такая возможность. Но есть возможность повысить эффективность очистки за счет увеличения содержания железистых соединений в коагулянтах до 50%, т.е. провести обогащение железистых диаматов. Исследование этого вопроса актуально в связи использованием местных материалов для создания современных комплексных коагулянтов в Республике Казахстан. Продолжение исследований позволит получить не только эффективный коагулянт, но и улучшить работу очистных сооружений.

Литература:

1. Алексеев В.В. Водоснабжение и водоотведение. – М.: АСВ, 2015.
2. Журба М.Г., Вдовин Ю.И., Говорова Ж.М. Водозаборно-очистные сооружения и устройства. – М., 2003.
3. Metcalf & Eddy. Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery. – McGraw-Hill, 2014.
4. Ветошкин А.Г. Процессы и аппараты защиты окружающей среды. – М.: Высшая школа, 2008.

Койшубекова Ф.А., M127-7352-25-02, Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилева
Жаркенов Е.Б., доцент м.а., Phd., Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилева

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ ДОЖДЕВОЙ КАНАЛИЗАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В данной статье описывается существующее положение баз данных и методов моделирования систем дождевой (ливневой) канализации в Казахстане, а именно в городе Астана. Некорректное планирование и развитие системы ливневой канализации в стремительно растущих темпах развития городской урбанизации, а также учитывая изменяющийся климат и устаревшие фонды данных, касательно коэффициентов применяемых для производства гидравлического расчета-приводит к системным затоплениям и неэффективности в целом, как существующей, так и проектируемой систем отвода поверхностного стока с селитебной городской территории.

В статье рассматривается возможность адаптации под конкретные местные климатические условия и требования, включая нормативные, разработанного Агентством по охране окружающей среды США (EPA) программного обеспечения Storm Water Management Model (далее SWMM). Вышеуказанное программное обеспечение является одной из первых на мировом рынке программ, позволяющих производить гидравлический расчет систем отвода поверхностного стока. Программное обеспечение SWMM размещено авторами с открытым исходным кодом, что позволяет на полном законном основании использовать данный продукт, не нарушая авторских прав, а также имеется возможность адаптации под конкретно заданные условия любого города и страны.

Ключевые слова: SWMM гидродинамическое моделирование, дождевая канализация, затопление, поверхностный сток, талые воды.

Бұл мақала Қазақстандағы, нақтырақ айтқанда Астана қаласындағы жаңбыр суын ағызу жүйелерінің дерекқорлары мен модельдеу әдістерінің қазіргі жағдайын сипаттайды. Жылдам қарқынмен өрісіп жатқан урбанизация, климаттың өзгеруі мен гидравликалық есептеулерде қолданылатын коэффициенттерге қатысты ескірген деректер жиынтықтарын ескермеу жаңбыр суларының ағызу жүйесін дұрыс жоспарламау мен дамытудың жүйелі су тасқындарына және жалпы тиімсіздікке әкеледі, қалалық тұрғын аудандардағы қолданыстағы және жоспарланған беткі су ағызу жүйелеріне әсер етеді.

Бұл мақала АҚШ-тың Экологиялық қорғау агенттігі (EPA) әзірлеген Жаңбыр суын басқару моделі (әрі қарай – SWMM) бағдарламасын жергілікті климаттық жағдайлар мен талаптарға, соның ішінде нормативтік талаптарға бейімдеу мүмкіндігін қарастырады. Жоғарыда аталған бағдарламалық жасақтама беттік ағынды сулар ағызу жүйелерінің гидравликалық есептеулерін жүргізуге мүмкіндік беретін әлемдік нарықтағы алғашқы бағдарламалардың бірі болып табылады. SWMM бағдарламасы авторлары тарапынан ашық бастапқы коды бар бағдарлама ретінде жарияланған, бұл өнімді авторлық құқықты бұзбай толық заңды негізде пайдалануға мүмкіндік береді және оны кез келген қаланың немесе елдің нақты жағдайларына бейімдеуге болады.

Түйін сөздер: SWMM гидродинамикалық модельдеу, дауылды су ағызу, су тасқыны, беткі ағын, еру суы.

This article describes the current state of databases and modeling methods for stormwater drainage systems in Kazakhstan, specifically in the city of Astana. Incorrect planning and development of the storm sewer system amid the rapidly accelerating pace of urbanization, as well as taking into account climate change and outdated data sets regarding the coefficients used for hydraulic calculations, leads to systemic flooding and overall inefficiency affecting both existing and planned surface runoff drainage systems in urban residential areas.

This article examines the possibility of adapting the Storm Water Management Model (hereinafter SWMM) software, developed by the U.S. Environmental Protection Agency (EPA), to specific local climatic conditions and requirements, including regulatory ones. The aforementioned software is one of the first programs on the global market that allows for the hydraulic calculation of surface runoff drainage systems. The SWMM software is released by the authors as open-source, which allows for the fully legal use of this product without infringing on copyrights, and it can also be adapted to the specific conditions of any city or country.

Keywords: SWMM hydrodynamic modeling, storm sewer system, flooding, surface runoff, meltwater.

Организованное удаление атмосферных осадков, выпавших на поверхность земли, является одним из основных требований благоустройства населенных мест и промышленных территорий. При отсутствии организованного отвода ливневых вод значительные массы воды скапливаются на поверхности улиц, проездов и застроенных территорий, и это нарушает нормальное движение пешеходов и транспорта, а иногда приводит к затоплению нижележащих участков и расположенных на них зданий [1].

В условиях стремительно растущей городской застройки, для обеспечения комфортной жизнедеятельности населения, возникает острая необходимость в устройстве качественной и эффективной системы отвода поверхностного стока. Согласно определению, данному в п.5.2 СН РК 4.01-03-2011, – система отвода поверхностного стока включает в себя дождевые, талые и поливомоечные стоки [2].

На сегодняшний день сети ливневой канализации не в полной мере покрывают территорию города отводом поверхностного стока, что связано, как уже отмечалось, с быстрорастущими темпами развития новых районов, строительство сетей намного отстает от освоенных селитебных территорий, что приводит к затоплению столицы поверхностным стоком.

Стоит отметить, что фактическое состояние системы дождевой (ливневой) канализации является неудовлетворительным в масштабах растущего города, проблемы имеются в физическом износе сетей, заиленности трубопроводов, недостаточной пропускной способности как существующих, так и проектируемых сетей, а также существуют районы (бассейны водосбора), где проложены и функционируют сети отвода поверхностного стока, однако, по тем или иным причинам, отсутствуют головные очистные сооружения, соответственно собранный сток находится на подпоре в вышеуказанных коллекторах.



Рисунок 1 – Территория города Астана во время затопления поверхностным стоком.

Данные проблемы связаны с отсутствием единой, корректной, взаимоувязанной гидравлической модели, а также своевременного сообщения между генеральными проектировщиками, разработчиками локальных проектов, эксплуатационными службами, где выявляются проблемы не только существующих сетей, но и ранее запроектированных.

Прежде всего эффективность систем дождевой (ливневой) канализации зависит от корректно произведенного гидравлического расчета, с учетом действующих нормативно-правовых актов (документов). На рынке Казахстана существуют программные обеспечения, посредством которых осуществляются расчеты. Стоит отметить, что данные продукты являются импортом, закуп и пользование, которыми спонсируется из местного бюджета, либо из частных средств, однако они не учитывают местные фактические климатические и нормативно-правовые акты (документы). Соответственно, функционирующие на основании местных запросов, программные обеспечения – отсутствуют. В связи с вышеизложенным появляется критичная необходимость в разработке собственной модели или, как предлагается, адаптации одной из наилучших по функциональным требованиям существующей программ.

В настоящее время, при использовании действующих программных обеспечений, при производстве гидравлического расчета ливневой канализации в селитебных территориях, возникает конфликт в подборе коэффициентов и определении площадей водосбора. Коэффициенты, к примеру такие, как коэффициент инфильтрации и коэффициент поверхностного стока, применяются не те, что прописаны в действующей нормативно-технической документации.

Проблематика существующих систем и баз данных: на данный момент основной проблемой действующих систем и баз данных, является низкий уровень цифровизации и стандартизации данных о существующих сетях дождевой (ливневой) канализации. В большинстве случаев данные о параметрах сетей, а именно трубопроводов, колодцах, резервуарах и т.д. хранятся в разрозненных, не взаимоувязанных источниках (частично в электронном формате, бумажных носителях, архивных планах, планшетах), что затруднительно и не в полной мере информативно при использовании программных обеспечений (построении гидравлических моделей). Также большим упущением, при проектировании систем, (является упрощенное пользование представленными инструментами, причиной чему служит не адаптивность заложенных в систему расчетов данных, под местные реалии) является фрагментарное использование предложенного инструментария, так как это значительно снижает качество анализа поступающего в систему стока при выполнении моделирования. Всё вышеперечисленное создает неполную и отчасти недостоверную картину, при комплексном моделировании стоков и производстве расчетов.

Сравнительный анализ моделей: в мировой практике, для решения вопросов эффективного и своевременного отвода поверхностного стока с городских территории, используются специализированные программные обеспечения, позволяющие осуществлять гидрологическое и гидравлическое моделирование систем дождевой (ливневой) канализации.

Ниже показаны официальные сайты программных обеспечений, где подробно описываются предлагаемые продукты с перечнем имеющихся инструментов.

В таблице приведено сравнение широко используемых программных обеспечений (ПО), которые в большинстве своем являются производными модели SWMM.



Autodesk XPSWMM



Bentley OpenFlows Storm



Fluidit Storm



GeoSWMM



ZuluDrain



SWMM

Рисунок 2 – Официальные сайты программных обеспечений.

Таблица 1 – Сравнительная таблица программных обеспечений для осуществления гидрологического и гидравлического моделирования

Программное обеспечение	Назначение и возможности	Преимущества	Ограничения
Autodesk XPSWMM	1D/2D моделирование ливневых и сточных систем, анализ поверхностного стока	Мощный анализ, детальная 2D-динамика	Высокая стоимость, сложное освоение
Bentley OpenFlows Storm	Гидравлический и гидрологический анализ ливневых сетей, сценарное моделирование	Гибкость работы со сложными сетями	Высокие требования к данным, дорогая лицензия
Fluidit Storm	Интегрированное 1D/2D моделирование городской дренажной сети	Современный интерфейс, развитая аналитика	Ограниченная распространённость
GeoSWMM	ГИС-ориентированное моделирование ливневых стоков и наводнений	Удобная интеграция ГИС-данных	Зависимость от ArcGIS/Civil 3D
ZuluDrain	Моделирование и анализ сетей водоотведения, поиск узких мест	Глубокий гидравлический анализ	Высокие требования к квалификации, платные модули
SWMM	Динамическое моделирование количества и качества ливневого стока	Бесплатное программное обеспечение (исходный код), моделирование во времени	Требует детальных исходных данных

Программное обеспечение SWMM: согласно заявленным авторами характеристикам и описаниям к программному обеспечению SWMM, имеется широкий спектр возможностей не только в проектировании и моделировании сетей дождевой (ливневой) и дренажной канализаций, но и для осуществления наблюдений и создания полноценной базы данных касательно качественных характеристик стока, поступающего в систему, на основе произведенных лабораторных анализов (качества стока) [4]. Учитывая тот факт, что территория нашей страны обширна, где имеется разность климатических характеристик, представляющих собой значительную амплитуду температурного режима, включая длительные заморозки, обильно весеннее таяние снега, а также локальные летние ливни-делают обеспечение дождевой (ливневой) канализацией обязательной составляющей для устройства современной застройки и комфортной жизни в городских условиях.

Необходимо отметить, что преимущества разработанной гидравлической модели весьма необходимы и полезны для организаций, проектирующих системы ливневой канализации в городе Астана, особенно для коммунальных предприятий. Как уже упоминалось, качество модели зависит от точности исходных данных. Поэтому готовая модель должна быть откалибрована и скорректирована. Это связано с тем, что каждый трубопровод был построен в соответствии с рабочим проектом, и в процессе строительства могут возникать технические ошибки. Для решения этой проблемы необходима техническая инспекция существующих сетей [5].

Соответственно адаптированная версия программного обеспечения SWMM под казахстанскую нормативно-правовую базу, будет доступна к осуществлению моделирования системы дождевой (ливневой) канализации для любого региона страны, путем внесения корректных данных (коэффициентов, показателей, осадков и т.д.) конкретной местности.

Заключение

Осуществление работы по данному направлению позволит не только произвести научный анализ всей системы ливневой канализации, но и обеспечит страну отечественным продуктом, покрывающим все заявленные требования.

Литература:

1. Шнееров А.И. Ливневая канализация / под ред. Смирнова А.П. – М.: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1953. – 324 с.
2. СН РК 4.01-03-2011* Водоотведение. Наружные сети и сооружения
3. Елисеева Е. Мощный ливень обрушился на Астану: центральную часть города затопило <https://www.zakon.kz/obshestvo/6437303-moshchnyy-liven-obrushilsya-na-astanu-tsentralsnuyu-chast-goroda-zatopilo.html>
4. Lewis A. Rossman and Michelle A. Simon. Storm Water Management Model User's Manual Version 5.2. Center for Environmental Solutions and Emergency Response Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency. 2022
5. Zharkenov Y. Solutions to the storm sewer system of the Astana city, Thesis for the Degree of doctor of philosophy (PhD), L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2020

Куанышев С.М., маг. гр. М127-7352-24-02 ЕНУ им. Л.Н. Гумилева
Смагулова Э.М., к.т.н., доцент, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева

ПРИМЕНЕНИЕ МЕМБРАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ КАЗАХСТАНА

В статье рассмотрены современные мембранные технологии очистки сточных вод, применяемые на промышленных предприятиях Казахстана. Проанализированы основные виды мембранных процессов, их эффективность и перспективы внедрения. Особое внимание уделено вопросам повторного использования очищенной воды и снижению экологической нагрузки на окружающую среду.

Ключевые слова: мембранные технологии, сточные воды, очистка воды, промышленность, Казахстан, обратный осмос, ультрафильтрация.

Мақалада Қазақстанның өнеркәсіптік кәсіпорындарында қолданылатын ағынды суларды тазартудың заманауи мембраналық технологиялары қарастырылған. Мембраналық процестердің негізгі түрлері, олардың тиімділігі мен енгізу перспективалары талданған. Тазартылған суды қайта пайдалану және қоршаған ортаға түсетін жүктемені азайту мәселелеріне ерекше назар аударылған.

Түйін сөздер: мембраналық технологиялар, ағынды сулар, су тазарту, өнеркәсіп, Қазақстан, кері осмос, ультрафильтрация.

The article discusses modern membrane technologies for wastewater treatment used at industrial enterprises in Kazakhstan. The main types of membrane processes, their efficiency and implementation prospects are analyzed. Special attention is paid to water reuse and reducing environmental impact.

Keywords: membrane technologies, wastewater, water treatment, industry, Kazakhstan, reverse osmosis, ultrafiltration.

В условиях индустриального развития Казахстана проблема очистки сточных вод приобретает особую актуальность. Промышленные предприятия, включая нефтегазовую, металлургическую и химическую отрасли, являются основными источниками загрязнения водных ресурсов [1] [3]. В связи с этим возникает необходимость внедрения эффективных и современных технологий очистки, среди которых особое место занимают мембранные методы [2].

Мембранные технологии представляют собой процессы разделения веществ с использованием полупроницаемых мембран, которые позволяют удалять загрязняющие компоненты на молекулярном уровне. К основным видам мембранной очистки относятся микрофильтрация, ультрафильтрация, нанофильтрация и обратный осмос. Эти методы отличаются высокой степенью очистки и возможностью удаления как механических примесей, так и растворённых веществ, включая соли, тяжелые металлы и органические соединения.

Одним из наиболее эффективных методов является обратный осмос (рис. 1), который позволяет получать воду высокого качества, пригодную для повторного использования в технологических процессах [2]. Ультрафильтрация широко применяется для удаления взвешенных веществ, бактерий и коллоидных частиц. В сочетании с биологическими методами очистки мембранные технологии образуют мембранные биореакторы, обеспечивающие высокую степень очистки сточных вод.

На промышленных предприятиях Казахстана мембранные технологии постепенно внедряются в системы водоочистки [3]. Особенно активно они используются в нефтегазовом секторе и горнометаллургической промышленности, где требуется высокая степень очистки воды перед сбросом или повторным использованием. Применение данных технологий позволяет значительно снизить содержание загрязняющих веществ и уменьшить нагрузку на природные водоемы.

Несмотря на очевидные преимущества, внедрение мембранных технологий сталкивается с рядом проблем. К ним относятся высокая стоимость оборудования [2], необходимость регулярного обслуживания и замены мембран, а также требования к предварительной очистке воды. Однако с развитием технологий и снижением стоимости оборудования данные барьеры постепенно преодолеваются.

Перспективы применения мембранных технологий в Казахстане связаны с ужесточением экологических требований и необходимостью рационального использования водных ресурсов. Внедрение замкнутых систем водооборота на предприятиях позволит не только сократить потребление воды, но и снизить негативное воздействие на окружающую среду [1] [3].



Рисунок 1 – Метод обратного осмоса.

Таким образом, мембранные технологии являются одним из наиболее перспективных направлений в области очистки сточных вод. Их применение на промышленных предприятиях Казахстана способствует повышению экологической безопасности и устойчивому развитию промышленности.

Литература:

1. Тетиор А.Н. *Городская экология*. – М.: Академия, 2016. – 432 с.
2. Кульский Л.А. *Основы мембранной технологии*. – М.: Химия, 2015. – 320 с.
3. Ахметов Т.К. *Очистка сточных вод промышленных предприятий*. – Алматы: Наука, 2018. – 280 с.

УДК 621.22

Джартаева Д.К., к.т.н., доцент, ассоц. проф. МОК (КазГАСА)
Кусаин С.Э., ст. гр. ВПУ-24-1* МОК (КазГАСА)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ПОТОКА ВОДЫ В ТРУБОПРОВОДАХ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

В статье рассмотрено использование энергии потока воды в трубопроводах для генерации электроэнергии с помощью малых гидротурбин и микро-гидроустановок. Показано, что технология эффективна для локального энергоснабжения и повышения энергоэффективности с учётом условий Казахстана.

Ключевые слова: гидроэнергетика, микро-гидроустановки, трубопровод, энергия потока, генерация электроэнергии, КПД, локальное энергоснабжение, устойчивое развитие.

Судың ағыны энергиясын құбыр жүйелерінде шағын гидротурбиналар мен микро-гидроқондырғылар арқылы электр энергиясын өндіруде қолдану қарастырылды. Технологияның Қазақстан жағдайында жергілікті энергиямен қамтамасыз ету мен энергия тиімділігін арттыруға тиімді екені көрсетілді.

Түйін сөздер: гидроэнергетика, микро-гидроқондырғылар, құбыр өткізгіш, ағын энергиясы, электр энергиясының генерациясы, ПЭК, жергілікті энергиямен жабдықтау, тұрақты даму.

The use of water flow energy in pipelines for electricity generation using small hydroturbines and micro-hydro installations is examined. It is shown that the technology is effective for local energy supply and improving energy efficiency under the conditions of Kazakhstan.

Keywords: hydropower, micro hydropower, pipeline, flow energy, power generation, efficiency, local power supply, sustainable development.

Введение. С ростом энергопотребления становится важным искать новые эффективные способы выработки электроэнергии [1] [2]. Одним из таких решений является использование энергии потока воды в трубопроводах водоснабжения и водоотведения [2], [3].

В отличие от традиционной гидроэнергетики, эта технология использует существующие сети и позволяет превращать избыточное давление в электричество с помощью микро-гидротурбин без нарушения работы системы [1], [2]. Особенно эффективно это работает на участках с постоянным расходом воды и перепадом давления [3].

Цель работы – проанализировать принципы генерации, выполнить расчёты мощности и оценить возможности применения в городской инфраструктуре Казахстана.

Материалы и методы. Генерация электроэнергии в трубопроводах основана на преобразовании энергии потока воды [1], [2]. Для этого используются малые гидротурбины и микро-гидроустановки, которые превращают энергию движения и давления воды сначала в механическую, а затем в электрическую [2], [3].

Технические решения и оборудование. В системах применяются компактные турбины, адаптированные к трубопроводам (Каплана, Френсиса, Пелтона), а также генераторы для выработки электроэнергии [2], [3]. При проектировании важно учитывать снижение потерь давления, защиту труб от износа и возможность работы системы без перебоев [5], [8].

Схема работы установки. На рисунке 1 представлена схема генерации энергии в круглом трубопроводе.

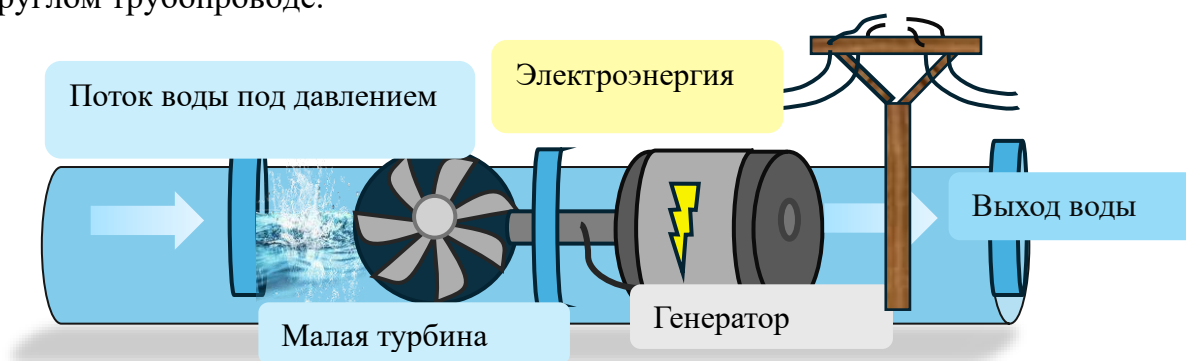


Рисунок 1 – Генерация энергии в трубопроводах.

Вода движется по трубопроводу под давлением, на нужном участке устанавливается турбина, которая под действием потока вращает генератор и вырабатывает электроэнергию [1] [3]. После этого вода продолжает движение, а потери давления остаются незначительными и не влияют на работу системы [5].

Расчёт электроэнергии в трубопроводах

Энергия потока воды (мощность турбины) рассчитывается по формуле [2] [3]:

$$P = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

где P – мощность, Вт; η – КПД турбины (0,7–0,9 для малых установок); ρ – плотность воды (≈ 1000 кг/м³); g – ускорение свободного падения (9,81 м/с²); Q – расход воды, м³/с; H – напор (м вод. столба).

Примем следующие параметры:

- диаметр трубы: 200 мм (0,2 м);
- скорость потока: 2 м/с;
- длина участка: 50 м;
- напор: 5 м вод. ст.;
- КПД турбины: 80%

Расход воды:

$$Q = S \cdot v = \pi \times (0,1)^2 \cdot 2 \approx 0,0628 \text{ м}^3/\text{с}$$

Мощность турбины:

$$P = 0,8 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,0628 \cdot 5 \approx 2460 \text{ Вт} \approx 2,5$$

При непрерывной работе (24 часа) установка может вырабатывать: $2,5 \text{ кВт} \times 24 = 60 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ в сутки. На рисунке 2 приведена диаграмма зависимости мощности от расхода воды.

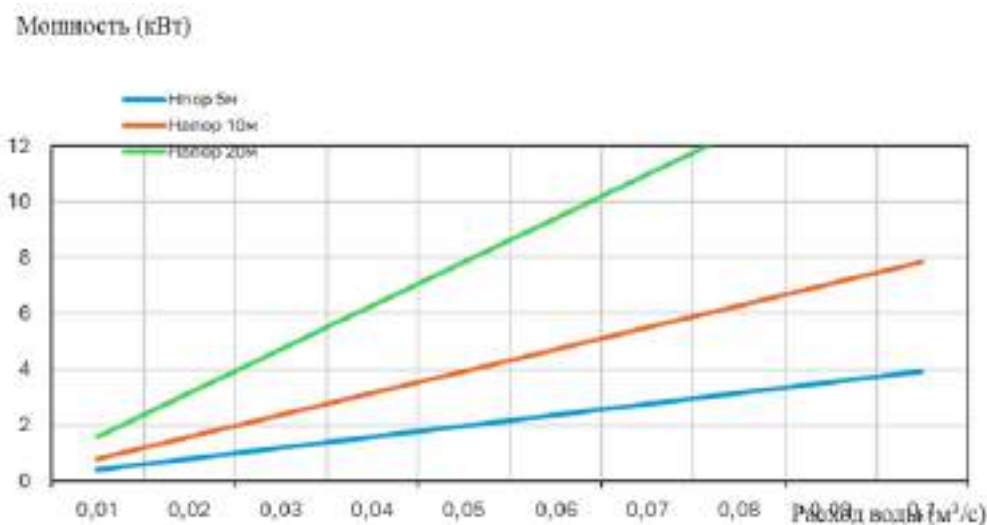


Рисунок 2 – Диаграмма зависимости мощности от расхода воды.

Оценка потенциала генерации электроэнергии в трубопроводах

Для оценки эффективности рассмотрен условный городской сценарий использования микро-гидротурбин в системе водоснабжения [1], [2]. Одна установка мощностью 2–3 кВт может вырабатывать около 2,5 кВт электроэнергии, а при увеличении их числа общая мощность растёт пропорционально [3].

Даже при небольшой мощности отдельных установок можно получить заметный энергетический эффект за счёт распределённой генерации [1], [2]. Вырабатываемая энергия может использоваться для освещения, работы насосных станций и систем мониторинга [2], [5].

При непрерывной работе одна установка даёт около 60 кВт·ч в сутки и более 20 000 кВт·ч в год, что делает технологию эффективной для повышения энергоэффективности городской инфраструктуры.

Результаты и обсуждения

Преимущества использования энергии потоков воды в трубопроводах

Использование энергии воды в трубопроводах экологично и не сопровождается выбросами [1], [2]. Важным преимуществом является применение существующей инфраструктуры, что снижает затраты [5]. Потоки воды обеспечивают стабильный источник энергии, не зависящий от погодных условий [2], а технология легко интегрируется в системы водоснабжения и локальные электросети.

Сравнение с альтернативными источниками энергии

В отличие от солнечной и ветровой генерации, зависящих от погодных условий, данная технология обеспечивает стабильную выработку электроэнергии 24 часа в сутки [1], [2]. Однако мощность отдельных установок относительно невелика (обычно 2–10 кВт), поэтому они наиболее эффективны как дополнительный источник локального энергоснабжения [3].

Область применения

Основные сложности связаны с точным расчётом гидравлических потерь и требованиями к устойчивости материалов к коррозии и износу [5] [8]. Кроме того, из-за небольшой мощности такие установки применяются в основном на локальном уровне и ограничено используются в крупной энергетике [2].

Мировой опыт применения и особенности внедрения.

Фрибург (Швейцария). Установка микро-гидротурбин на участках с избыточным давлением вместо редукционных клапанов обеспечила выработку порядка 136 МВт·ч электроэнергии в год, что подтвердило экономическую эффективность данного подхода [6].

Тегеран (Иран). Замена клапанов снижения давления на микро-гидротурбины позволила восстановить 42,3 % энергии, затрачиваемой на перекачку воды, при потенциальной мощности установки 168 кВт в исследованной зоне [4].

Саудовская Аравия. На магистральном водоводе длиной 230 км в западной части Саудовской Аравии на участках с большим перепадом высот гидротурбины типа Пелтона показали значительный потенциал генерации электроэнергии [7].

Микро-гидротурбины в трубопроводах уже применяются в Европе и Северной Америке на участках с избыточным давлением, генерируя несколько десятков киловатт для освещения и систем мониторинга [1], [2].

В Казахстане технология пока на пилотной стадии, в основном в крупных городах с перепадами давления, например в Алматы и Астане [2]. Такие участки подходят для установки турбин без нарушения работы системы.

Применение технологии повышает энергоэффективность, снижает затраты и может использоваться в водопроводных, канализационных и промышленных сетях, обеспечивая питание освещения, датчиков и автоматизации.

Перспективы развития

Современные исследования направлены на повышение КПД малых турбин, адаптированных к условиям низкого расхода и давления, разработку интеллектуальных систем управления [1], [3], а также создание комбинированных решений, объединяющих гидро- и солнечную генерацию [2].

В перспективе данные технологии способны способствовать формированию энергоэффективных и автономных городских систем, что особенно актуально для условий Казахстана.

Выводы

Использование энергии потока воды в трубопроводах эффективно и безопасно [1], [2]. Микро-гидротурбины преобразуют гидравлическую энергию в электрическую без нарушения работы системы [3]. Одна установка даёт 2–3 кВт; масштабирование создаёт значительный потенциал распределённой генерации. Технология устойчива, не зависит от погодных условий и подходит для локального энергоснабжения.

Внедрение в Казахстане способствует повышению энергоэффективности и развитию устойчивой инфраструктуры [2]. Дальнейшие исследования направлены на повышение КПД и интеграцию с другими возобновляемыми источниками.

Литература:

1. Абдул Рахман М.Ф., Камал Н.А., Абдулла Дж. и др. Раскрытие потенциала микрогидроэнергетики в сетях водоснабжения: комплексный систематический обзор // *Discover Sustainability*. – 2025. – Т. 6. – №56.
2. Стамос Н., Коггумцидис И., Вафиадис К., Турлидакис А. Обзор гидроэнергетических технологий и потенциала рекуперации энергии в водопроводных сетях для повышения их устойчивости // *Energies*. – 2026. – 19(2):320.
3. Микрогидроэнергетика в водопроводных сетях за счет оптимизации размеров и управления насосами, работающими в режиме турбин (PAT) // *Applied Energy*. – 2023.
4. Хамлехдар М., Юсефи Х., Нуrolлахи Я., Мохаммади М. Рекуперация энергии в водопроводных сетях с использованием микрогидроэнергетики: тематическое исследование в Иране // *Energy*. – 2022.
5. Коркоран Л., Макнабола А., Коглан П. Оптимизация водопроводных сетей для совместной рекуперации гидроэнергии и сокращения утечек // *J. Water Resour. Plan. Manag.* – 2016.
6. Самора И., Мансо П., Франка М.Ж., Шляйс А.Ж., Рамуш Х. Рекуперация энергии с использованием технологий микрогидроэнергетики в системах водоснабжения: тематическое исследование города Фрибур // *Water*. – 2016.
7. Итани Я. и др. Рекуперация энергии с помощью гидротурбин в магистральных водоводах: тематическое исследование на западе Саудовской Аравии // *Energy*. – 2020.
8. Билал М.П., Снашел В. Оптимизация проектирования водопроводных сетей с использованием нового алгоритма дифференциальной эволюции // *IEEE Access*. – 2021.

ӘОЖ 628.113.1(100)

Момыш Б.А., ХБК (КазБСҚА) ВІПУ-23-1* тобы студ.

Қасабекова Г.Т., т.ғ.м., ХБК (КазБСҚА) профессор-ассист.

ТҰҒЫ СУ ТАПШЫЛЫҒЫН ШЕШУДІҢ ЖАҒАНДЫҚ ЖОЛЫ

XXI ғасырда жаһандық тұщы су дағдарысы критикалық деңгейге жетті. Жердегі жалпы судың тек 2,5 %-ы ғана тұщы су, ал оның 1 %-дан азы адам пайдалануына қолжетімді. Халықтың жедел өсуі, климаттың өзгеруі, мұздықтардың еруі және қарқынды антропогендік қысым 4 миллиардтан астам адамның жылына кемінде бір ай бойы су тапшылығын сезінуіне әкелді [1]. 2050 жылға қарай 5 миллиардқа жуық адам су тапшылығы бар аймақтарда тұрады деп болжануда. Израильде сәтті енгізілген кері осмос сияқты дәстүрлі тұщыту технологиялары тиімділігін көрсеткенімен, олар жоғары энергия тұтыну (3,2-3,8 кВтсағ/м³), мембраналардың жиі ластануы және қоршаған ортаға зиян келтіретін гипертузды ерітіндінің (рапа) бөлінуі (жылына 51,7 млрд м³-ден астам) сияқты кемшіліктерден зардап шегеді.

Бұл жұмыста AQUA-GENESIS – графен-оксидті наномембраналар, жүзбелі күн фермалары, толқын энергиясын түрлендіргіштер және қалдықсыз (ZLD) рапаны кәдеге жарату арқылы су

өндірісінде төңкеріс жасайтын жаңа буынды автономды платформа ұсынылады. Ультразұқа графен қабаттары ($\approx 2,5$ нм) су ағынын дәстүрлі мембраналарға қарағанда 313 %-ға дейін арттырып, энергия қажеттілігін 70-80 %-ға азайтады. Толығымен жаңартылатын көздерден қуат алатын жүйе рапаны құнды минералдарға (литий, магний, натрий және сирек металдар) айналдырып, айналмалы экономика моделін құрады. Мақалада технологиялық-экономикалық талдау, өмірлік циклді бағалау және Қазақстанның Каспий мен оңтүстік бассейндері үшін енгізу жолдары қарастырылған.

Түйін сөздер: тұщы су тапшылығы, графен-оксидті наномембраналар, теңіз суын тұщыту, жаңартылатын энергия, жүзбелі күн фермалары, рапаны кәдеге жарату, айналмалы экономика, AQUA-GENESIS.

В XXI веке глобальный кризис пресной воды достиг критического уровня. Лишь 2,5% всей воды на Земле является пресной, при этом менее 1% доступно для использования человеком. Быстрый рост населения, изменение климата, таяние ледников и интенсивное антропогенное воздействие привели к тому, что более 4 миллиардов человек испытывают нехватку воды как минимум один месяц в году. По прогнозам, к 2050 году около 5 миллиардов человек будут проживать в регионах с дефицитом воды.

Традиционные технологии опреснения, такие как обратный осмос, успешно применяемые в Израиле, доказали свою эффективность, однако имеют ряд существенных недостатков: высокое энергопотребление (3,2-3,8 кВт·ч/м³), частое загрязнение мембран и образование гиперсолёного рассола (более 51,7 млрд м³ в год), наносящего вред окружающей среде.

В данной работе предлагается AQUA-GENESIS – автономная платформа нового поколения, способная совершить революцию в производстве воды за счёт использования графен-оксидных наномембран, плавучих солнечных ферм, преобразователей волновой энергии и технологии безотходной утилизации рассола (ZLD). Ультратонкие графеновые слои ($\approx 2,5$ нм) увеличивают поток воды до 313 % по сравнению с традиционными мембранами и снижают энергопотребление на 70-80 %. Система полностью работает на возобновляемых источниках энергии и преобразует рассол в ценные минералы (литий, магний, натрий и редкие металлы), формируя модель циркулярной экономики. В статье рассматриваются технико-экономический анализ, оценка жизненного цикла и пути внедрения технологии для Каспийского региона и южных бассейнов Казахстана.

Ключевые слова: дефицит пресной воды, наномембраны из оксида графена, опреснение морской воды, возобновляемая энергия, плавучие солнечные электростанции, утилизация сточных вод, циркулярная экономика, AQUA-GENESIS.

In the 21st century, the global freshwater crisis has reached a critical level. Only 2.5% of the Earth's total water is freshwater, and less than 1% is accessible for human use. Rapid population growth, climate change, glacier melting, and intense anthropogenic pressure have led to more than 4 billion people experiencing water scarcity for at least one month per year. It is projected that by 2050, nearly 5 billion people will live in water-stressed regions.

Conventional desalination technologies, such as reverse osmosis successfully implemented in Israel, have demonstrated their effectiveness; however, they suffer from significant drawbacks, including high energy consumption (3.2-3.8 kWh/m³), frequent membrane fouling, and the discharge of highly concentrated brine (over 51.7 billion m³ annually), which harms the environment.

This study proposes AQUA-GENESIS – a next-generation autonomous platform designed to revolutionize water production through the use of graphene oxide nanomembranes, floating solar farms, wave energy converters, and zero liquid discharge (ZLD) brine management. Ultra-thin graphene layers (≈ 2.5 nm) increase water flux by up to 313% compared to conventional membranes and reduce energy demand by 70-80%. Fully powered by renewable energy sources, the system converts brine into valuable minerals (lithium, magnesium, sodium, and rare metals), forming a circular economy model. The paper presents a techno-economic analysis, life cycle assessment, and implementation pathways for the Caspian region and southern basins of Kazakhstan.

Keywords: freshwater shortage, graphene oxide nanomembranes, seawater desalination, renewable energy, floating solar power plants, wastewater disposal, circular economy, AQUA-GENESIS.

Кіріспе

Су – тіршіліктің негізі, бірақ оның қолжетімділігі адамзат дамуы мен планета саулығы үшін басты кедергіге айналууда. БҰҰ-ның соңғы есебіне сәйкес, су тапшылығы әлем халқының 72%-ына әсер етуде, әсіресе Африка, Оңтүстік Азия, Таяу Шығыс және Орталық Азияда жағдай күрделі.

Қазақстанда Алматы мен оңтүстік өңірлердегі жедел урбанизация жер асты суларының азаюына және жер үсті суларының сапасының нашарлауына әкелді [4]. Өзендерді бұру немесе жер асты суларын шектен тыс пайдалану сияқты дәстүрлі шешімдер экологиялық шегіне жетті. Сондықтан теңіз суын тұщыту стратегиялық маңызды балама болып табылады. AQUA-GENESIS бұл мәселелерді нанотехнология мен жаңартылатын энергияны біріктіру арқылы шешу үшін жасалған.

ЖЕР ШАРЫНДАҒЫ СУДЫҢ ҮЛЕСІ



1-сурет – Жаһандық тұщы су тапшылығына шолу.

Әлемдік тәжірибе және қазіргі тұщыту технологияларының шектеулері

Израиль су тұщытуда әлемдік көшбасшы болып қала береді. Sorek/Soreq В кешені тәулігіне 672 000 м³ су өндіріп, елдің қажеттілігінің 70-80 %-ын өтейді [3]. Алайда, қазіргі зауыттар жоғары қысымды (55-70 бар) талап ететін полимерлі мембраналарға тәуелді, бұл энергия шығынын 3 кВтсағ/м³-ден төмендетуге мүмкіндік бермейді [5].

Негізгі мәселелер: жоғары энергия шығыны, мембраналардың тез істен шығуы және теңіз экожүйесінде «өлі аймақтар» тудыратын гипертұзды рапа қалдықтары. Бұл кемшіліктер графен-оксидті зерттеуге жол ашты, өйткені бұл материалдың механикалық беріктігі жоғары және су өткізгіштігі бірнеше есе артық [2].

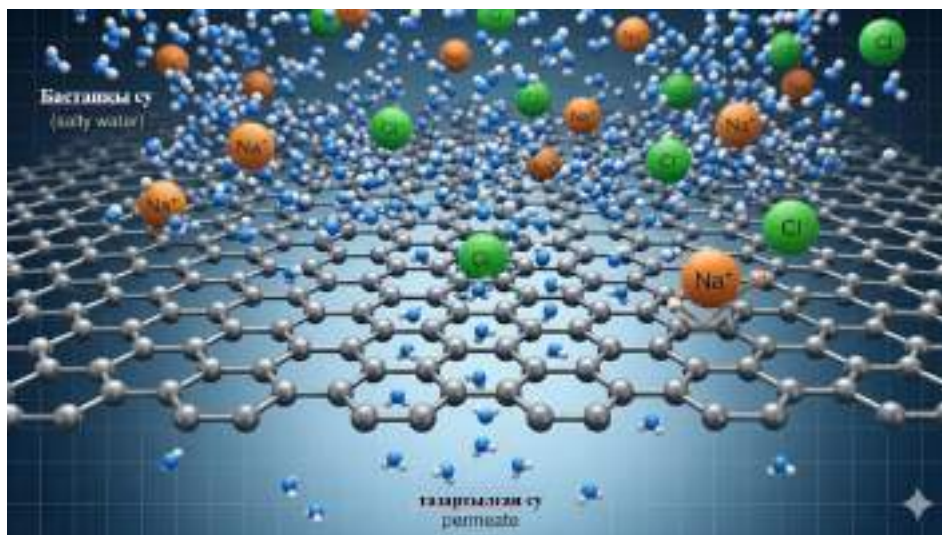


2-сурет – Ірі көлемді кері осмос тұщыту қондырғысы (қазіргі технологияның үлгісі).

Материалдар мен әдістер: AQUA-GENESIS технологиялық инновациясы

AQUA-GENESIS-тің негізгі инновациясы – субнанометрлік деңгейдегі молекулалық елеу және иондарды тежеу тетіктерімен оңтайландырылған графен-оксидті наномембрана. 2024-2026 жылдардағы зерттеулер бұл мембраналардың су ағынын 313 %-ға арттыра отырып, тұздарды 99 %-дан астам деңгейде ұстап қалатынын дәлелдеді.

Қалыңдығы небәрі $\approx 2,5$ нм және болаттан 50 есе мықты графен қабаттары гидравликалық қысымды 70–80 %-ға төмендетуге мүмкіндік береді. Жаңартылатын энергиямен біріктірілгенде, таза энергия тұтыну $0,5-1,0$ кВтсағ/м³ деңгейіне дейін жетеді, бұл – нағыз технологиялық серпіліс [6].



3-сурет – Графен-оксидті наномембраналардағы молекулалық сүзу механизмі.

Автономды жаңартылатын энергия интеграциясы

AQUA-GENESIS толықтай жүзбелі оффшорлық кешен ретінде жобаланған. Жүзбелі күн фермалары электр энергиясын өндіріп қана қоймай, судың булануын 70-90%-ға азайтады. Толқын энергиясының түрлендіргіштері күн болмаған кезде де 24/7 үздіксіз жұмысты қамтамасыз етеді [7].



4-сурет – AQUA-GENESIS жүзбелі жаңартылатын энергия платформасы.

Экономикалық, экологиялық және әлеуметтік әсерді талдау

Өмірлік циклді бағалау көрсеткендей, AQUA-GENESIS парниктік газдар шығарындыларын 80%-дан астамға азайтады. Рападан бөлініп алынатын литий, магний және натрий сияқты минералдарды сатудан түсетін табыс инвестицияның қайтарымдылығын (ROI) 5-7 жылға дейін қысқартады. Жүйе қалдықсыз өндіріс қағидасын ұстанады, бұл теңіз экожүйесін толық қорғауға мүмкіндік береді [8].



5-сурет – Энергия тұтынуды салыстыру.



6-сурет – Рапаны айналмалы кәдеге жарату және минералдарды бөліп алу процесі.

Минералдық ресурстарды қалдықсыз өндіру әлеуеті

Қазіргі теңіз суын тұщыту технологияларында негізгі мәселелердің бірі – жоғары концентрацияланған рапа қалдығының пайда болуы [10]. Дәстүрлі жүйелерде бұл рапа қоршаған ортаға зиян келтіретін қалдық ретінде теңізге төгіледі. Алайда, химиялық құрамын талдау көрсеткендей, рапа – бағалы минералдарға бай шикізат көзі болып табылады.

Орташа алғанда, теңіз суының 1 м³ көлемінде шамамен 35 кг еріген тұздар болады, оның ішінде натрий ($\approx 10\text{--}11$ кг/м³), магний ($\approx 1,2\text{--}1,4$ кг/м³), сондай-ақ аз мөлшерде литий ($\approx 0,17$ г/м³) және басқа элементтер бар. Осыған байланысты, ірі көлемдегі тұщыту кешендері минералдық ресурстарды өнеркәсіптік деңгейде өндіруге мүмкіндік береді.

AQUA-GENESIS жүйесінің болжамды өнімділігі тәулігіне 1 000 000 м³ теңіз суын өңдеуді құрайды. Теориялық есептеулер бойынша бұл көлемнен айтарлықтай мөлшерде минералдар алуға болады. Алайда, технологиялық шектеулерді ескере отырып, нақты өндірісте элементтерді толық бөліп алу мүмкін емес. Заманауи инженерлік бағалауларға сәйкес, натрийді алу тиімділігі 50-70 %, магний үшін 40–60%, ал литий үшін 10-30% шамасында болады.

Осы көрсеткіштерді ескере отырып, тәуліктік өндіріс көлемі шамамен келесідей болады: натрий — 5 000–7 000 тонна, магний – 500-800 тонна және литий – 20-50 кг. Әсіресе литийдің аз мөлшерде болуына қарамастан, оның жоғары нарықтық құны бұл бағыттың экономикалық тиімділігін арттырады.

Айта кету керек, қазіргі таңда көптеген елдер теңіз суынан минералдарды кең көлемде өндірумен айналыспайды. Бұл, ең алдымен, энергия шығынының жоғары болуына, элементтердің төмен концентрациясына және селективті бөлудің технологиялық күрделілігіне байланысты. Дәстүрлі мембраналық жүйелер нақты элементтерді тиімді бөлуге мүмкіндік бермейді, ал қосымша химиялық өңдеу процестері үлкен шығындарды талап етеді [5].

AQUA-GENESIS жобасының басты артықшылығы – осы шектеулерді еңсеру. Жоба аясында жаңартылатын энергия көздерін (күн және толқын энергиясы) пайдалану арқылы энергия шығыны айтарлықтай төмендетіледі. Сонымен қатар, графен-оксидті наномембраналар селективті сүзу қасиеттеріне ие болып, белгілі бір иондарды тиімді түрде бөлуге мүмкіндік береді. Бұл өз кезегінде минералдарды алудың экономикалық тиімділігін арттырады.

Осылайша, ұсынылып отырған жүйе тек су тұщыту технологиясы ғана емес, сонымен қатар қалдықсыз өндіріс қағидатына негізделген кешенді өнеркәсіптік платформа болып табылады. Бұл тәсіл айналмалы экономика моделін қалыптастырып, экологиялық жүктемені азайта отырып, қосымша экономикалық пайда алуға мүмкіндік береді.

Қорытынды және ұсыныстар

AQUA-GENESIS энергия тиімділігі мен экологиялық тұрақтылықты үйлестіре отырып, жаһандық су дағдарысын шешудің озық жолын ұсынады. Қазақстан үшін бұл технология оңтүстік өңірлердегі су тапшылығын жою және Каспий бассейнінің әлеуетін пайдалану үшін өте маңызды [9]. Алдағы қадамдар – жергілікті графен мембраналарын зертханалық сынақтан өткізу және Каспийде пилоттық зауыттар салу. Бұл Қазақстанды су қауіпсіздігі технологиялары бойынша аймақтық көшбасшыға айналдырады.

Әдебиеттер:

1. БҰҰ-ның 2026 жылғы Дүниежүзілік су ресурстарын дамыту туралы есебі. UNESCO/UN-Water.
2. Графен-оксидті тұщыту мембраналарындағы соңғы жетістіктер. (2024–2026 жж. ғылыми зерттеулер).
3. IDE Technologies. Sorek II жобасының деректері, 2026.
4. Қазақстан Республикасының Су кодексі. 2023 жылғы редакциясы.
5. Тұщыту қондырғыларындағы жоғары қысымды полимерлі мембраналардың тиімділігін талдау. Soreq B кешенінің техникалық көрсеткіштері.
6. Жүзбелі күн фермаларының булануды азайту және энергия өндірудегі рөлі. Оффшорлық платформалардың климаттық моделі.
7. Толқын энергиясын түрлендіргіштердің 24/7 үздіксіз жұмыс режимін қамтамасыз етуі. Жаңартылатын энергия интеграциясы.
8. Теңіз суынан литий және сирек металдарды бөліп алудың экономикалық тиімділігі. Өмірлік циклді бағалау (LCA).
9. Каспий бассейніндегі су ресурстарын басқару және тұщыту технологияларын енгізу стратегиясы. Қазақстанның оңтүстік өңірлерін сумен қамту жолдары.

Нургазинов А.Е., маг. гр. ИСиС М127-7352-24-02, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева
Мухтаров А.К., к.х.н., доцент, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева

ОБОСНОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЯ «ЗЕЛЕННЫХ» ТЕХНОЛОГИЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ В Г. АСТАНА

В данной статье представлен анализ критического состояния систем водоснабжения и водоотведения Астаны в условиях стремительной урбанизации и климатических рисков. Автор обосновывает неизбежность перехода к «зеленой» модели водопользования, базирующейся на принципах децентрализованного сбора осадков и глубокой очистки стоков. Рассмотрены технические решения по внедрению концепции «города-губки», включая использование водопроницаемых покрытий и локальных накопительных резервуаров. Исследование доказывает, что создание замкнутых циклов рециркуляции позволит существенно снизить потребление питьевой воды для технических нужд и повысить энергетическую эффективность коммунального сектора. В завершении предложены конкретные меры по модернизации нормативной базы и внедрению экономических стимулов для застройщиков в Республике Казахстан.

Ключевые слова: Астана, «зеленые» технологии, рециклинг сточных вод, водная безопасность, концепция «Sponge City», рациональное водопользование.

Бұл мақала қарқынды урбанизация мен климаттық тәуекелдер жағдайында Астананың сумен жабдықтау және кәріз жүйелерінің дағдарыс жағдайын талдайды. Автор орталықсыздандырылған жаңбыр суын жинау және жетілдірілген ағынды суларды тазарту қағидаларына негізделген «жа-сыл» су ресурстарын басқару моделіне көшудің қажеттілігін дәлелдейді. «Сүңгуір қала» тұжырымдамасын іске асыруға арналған техникалық шешімдер, соның ішінде өткізгіш төсемдер мен жергілікті сақтау резервуарларын қолдану қарастырылған. Зерттеу жабық циклдегі қайта өңдеу жүйелерін құру техникалық мақсаттарға жұмсалатын ауыз су тұтынуын айтарлықтай азайтатынын және коммуналдық сектордың энергия тиімділігін арттыратынын көрсетеді. Қорытындылай келе, Қазақстандағы реттеушілік шеңберді жаңарту және құрылыс компанияларына экономикалық ынталандыру енгізу бойынша нақты шаралар ұсынылады.

Түйін сөздер: Астана, жасыл технологиялар, ағынды суларды қайта өңдеу, су қауіпсіздігі, «Сүңгуір қала» тұжырымдамасы, тұрақты су ресурстарын басқару.

This article presents an analysis of the critical state of Astana's water supply and wastewater systems in the context of rapid urbanisation and climate-related risks. The author argues for the inevitability of a transition to a 'green' water management model, based on the principles of decentralised rainwater harvesting and advanced wastewater treatment. Technical solutions for implementing the 'sponge city's concept are examined, including the use of permeable pavements and local storage tanks. The study demonstrates that the creation of closed-loop recycling systems will significantly reduce the consumption of drinking water for technical purposes and improve the energy efficiency of the utilities sector. Finally, specific measures are proposed for modernising the regulatory framework and introducing economic incentives for developers in the Republic of Kazakhstan.

Keywords: Astana, green technologies, wastewater recycling, water security, the 'Sponge City' concept, sustainable water management.

Современный этап развития столицы Казахстана характеризуется беспрецедентно высокой скоростью урбанизации, что диктует необходимость трансформации подходов к инженерному обеспечению города. Если в период становления Астаны как административного центра население города не достигало и 500 тысяч человек, то к 2026 году этот показатель официально превысил 1,3 миллиона [1,8]. С учетом маятниковой миграции реальное давление на коммунальные сети еще значительнее.

Центральноазиатский регион сегодня находится в зоне повышенного климатического риска, где дефицит пресной воды становится хроническим фактором [4,6]. В этой

связи модернизация систем водоснабжения и водоотведения из сугубо технического вопроса превращается в фундамент национальной безопасности. Данная работа обосновывает переход к модели «зеленого» водопользования, основанной на сборе осадков и глубокой рециркуляции стоков [5].

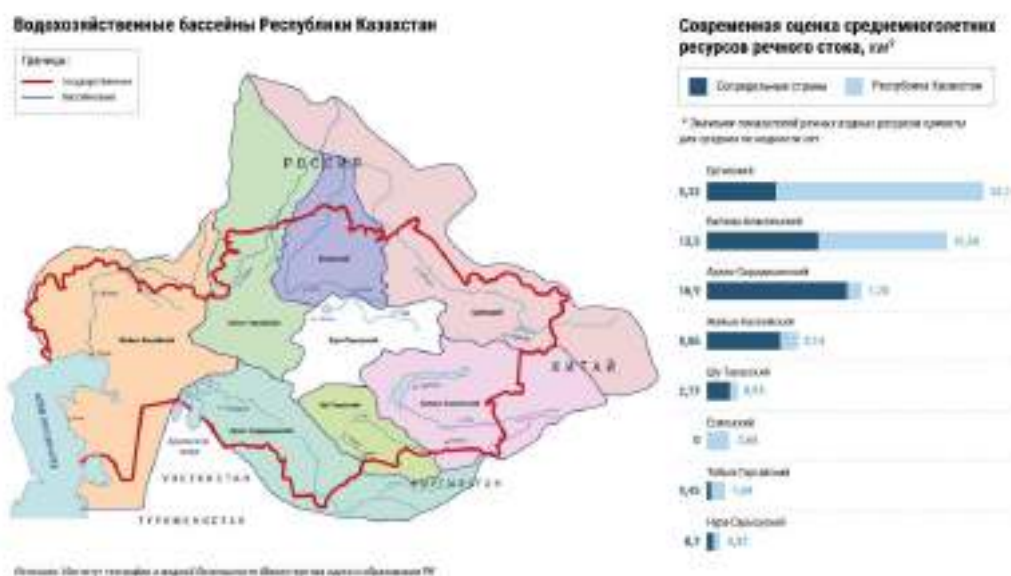


Рисунок 1 – Карта-схема водных ресурсов и инфраструктуры Астаны.

Основным источником жизни для города остается водохранилище на реке Ишим, спроектированное в 60-х годах прошлого века. Его технические параметры рассчитывались исходя из нужд полумиллиона жителей, однако нынешняя численность населения превышает эти лимиты более чем в два раза [2].

Несмотря на запуск новых очистных мощностей (станций НФС-3 и НФС-4), позволяющих справляться с пиками потребления, коренной перелом ситуации не достигнут. Ресурсный потенциал реки Ишим практически исчерпан, и дальнейшее увеличение забора воды грозит необратимыми последствиями для экосистемы региона [3].

Параллельно наблюдается системный кризис в сфере ливневой канализации. На протяжении двух последних десятилетий жилищное строительство на левобережье Астаны существенно опережало темпы прокладки коммуникаций [8].

По сведениям профильных ведомств, около 400 жилых комплексов были сданы без надлежащей системы отвода поверхностных вод [7]. Результатом стали хронические подтопления ключевых магистралей, включая проспект Туран [6], что ведет к деградации дорожного полотна и ухудшению санитарной обстановки.

Существующая ливневая сеть фрагментирована и не представляет собой единого гидравлического механизма [9]. Одной из наиболее острых проблем является незаконное использование дождевых коллекторов для слива бытовых нечистот. Это приводит к заиливанию труб, снижению их пропускной способности и избыточной нагрузке на центральные очистные сооружения. Действующие штрафные санкции не являются достаточным сдерживающим фактором для нарушителей.

Кроме того, текущая модель водоснабжения характеризуется высокой энергоемкостью: до 30% в структуре тарифа занимают расходы на электроэнергию, необходимую для транспортировки воды по сети протяженностью более 1200 км [5].

Для минимизации рисков предлагается внедрение концепции «города-губки» (Sponge City), предполагающей не просто отвод воды, а ее задержку и накопление [4].

Таблица 1 – Меры по рациональному использованию и повторному обращению водных ресурсов

Локальный сбор осадков	Использование пористых дорожных покрытий для инфильтрации влаги и создание подземных накопителей при новых объектах строительства.
Технический рециклинг	Внедрение систем мембранной очистки на уровне отдельных зданий позволит использовать серые стоки для технических нужд (санузлы, полив), снижая потребление питьевой воды на 30-40%.
Централизованная модернизация	Оснащение городских КОС блоками ультрафильтрации и обратного осмоса для подготовки воды, пригодной для промышленного сектора и подпитки ТЭЦ.
Нормативное регулирование	Обязательное включение систем водного сбережения в проектную документацию при строительстве крупных объектов и внедрение механизмов льготного «зеленого» кредитования.



Рисунок 2 – Принципиальная схема работы мембранного биореактора.

Традиционные методы расширения водохозяйственной инфраструктуры Астаны исчерпали себя. Децентрализация управления водными потоками и внедрение циклического водопотребления – единственный путь к обеспечению устойчивого развития столицы в условиях климатической неопределенности. Затягивание процесса перехода к инновационным моделям водопользования несет в себе критические угрозы для будущего мегаполиса.

Литература:

1. Аналитический обзор состояния коммунальной инфраструктуры городов Казахстана / под ред. Б.С. Нургалиева. – Алматы: Институт экономических исследований, 2024. – 184 с.
2. Данные о водных ресурсах бассейна реки Ишим: ежегодный бюллетень / РГП «Казгидромет». – Астана, 2025. – 67 с.
3. Информационно-аналитический отчет о деятельности КГП «Астана Су Арнасы» по итогам 2024 года. – Астана, 2025. – 112 с.
4. Концепция развития водной отрасли Республики Казахстан на период до 2030 года: утверждена постановлением Правительства РК от 15 мая 2024 года № 412. – Астана, 2024.

5. Мажитов Б.С. Повышение эффективности использования водных ресурсов в городском хозяйстве / Б.С. Мажитов, А.К. Нурғалиева, Д.Т. Абдильманов // Вестник КазНТУ. – 2024. – №3 (78). – С. 42–51.
6. О состоянии окружающей среды города Астаны: национальный доклад / Министерство экологии и природных ресурсов РК. – Астана, 2025. – 203 с.
7. Отчет о реализации мероприятий по развитию ливневой канализации г. Астаны за 2020–2024 годы / Управление энергетики и коммунального хозяйства г. Астаны. – Астана, 2024. – 45 с.
8. Программа развития территории города Астаны до 2030 года: утверждена решением маслихата г. Астаны от 20 декабря 2023 года № 124/24-VIII. – Астана, 2023.
9. Схема инженерного обеспечения территории города Астана на период до 2035 года / Управление архитектуры и градостроительства г. Астаны. – Астана, 2025. – 98 с.

ӘОЖ 628.113.1(274)

**Серікқалиева Д.А., Абдулла Ш.А., ХБК (КазБСҚА) ВІПУ-24-1*тобы студенттері
Муханова Т.Б., ХБК (КазБСҚА) проф.-ассистенті**

СУ ТАЗАРТУ ПРОЦЕСТЕРІН ИНТЕЛЛЕКТУАЛДАНДЫРУДЫҢ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ТИІМДІЛІККЕ ӘСЕРІ

Мақалада ағынды суларды тазартудың интеллектуалды әдістері зерттеледі, оларда жасанды интеллект, машиналық оқыту, блокчейн және кибер-физикалық жүйелер қолданылады. Экологиялық және энергетикалық тиімділікке әсері, су сапасын жақсарту және энергия шығындарын азайту қарастырылады. Өнеркәсіптік және фармацевтикалық ағынды суларды тазарту параметрлерін болжау және басқарудың заманауи тәсілдері келтірілген.

Түйін сөздер: жасанды интеллект, машиналық оқыту, блокчейн, кибер-физикалық жүйелер, экологиялық тиімділік, энергетикалық тиімділік, өнеркәсіптік ағын сулар, басқаруды автоматтандыру.

В статье исследуются интеллектуальные методы очистки сточных вод с применением ИИ, машинного обучения, блокчейна и кибер-физических систем. Рассматривается их влияние на экологическую и энергетическую эффективность, улучшение качества воды и снижение энергозатрат. Приведены современные подходы к прогнозированию и управлению параметрами очистки промышленных и фармацевтических стоков.

Ключевые слова: искусственный интеллект, машинное обучение, блокчейн, киберфизические системы, экологическая эффективность, энергоэффективность, промышленные сточные воды, автоматизация управления.

The article deals with the issues of artificial increase in groundwater reserves of the current state, suitable for urban water supply systems. The article provides solutions to this issue in world practice.

Keywords: artificial intelligence, machine learning, blockchain, cyber-physical systems, environmental efficiency, energy efficiency, industrial wastewater, control automation.

Кіріспе

Қазіргі заманғы ағынды суларды тазарту жүйелері экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз етуде, су ресурстарын ұтымды пайдалануда және өнеркәсіптің тұрақты дамуын қолдауда маңызды рөл атқарады [1]. Халық санының өсуі, фармацевтикалық және өнеркәсіптік қызметтің кеңеюі, сондай-ақ экологиялық талаптардың күшеюі дәстүрлі су тазарту әдістеріне айтарлықтай қиындықтар туғызады, өйткені олар үлкен энергия және материалдық шығындарды талап етеді және қолмен басқаруға әрі сараптамалық білімге тәуелді. Осындай жағдайларда жасанды интеллект (ЖИ), машиналық оқыту,

блокчейн технологиялары және кибер-физикалық жүйелерді пайдалану арқылы ағынды суларды тазарту процестерін интеллектуалдандыру тазарту құрылыстарының тиімділігін, сенімділігін және экологиялық қауіпсіздігін арттыруға мүмкіндік беретін перспективалы бағытқа айналуға.

Жасанды интеллект, машиналық оқыту модельдері және интеллектуалды технологияларды (Интернет заттары (IoT), датчиктер және олардың негізіндегі жүйелер) қолдануда елеулі жетістіктерге қарамастан, зерттеулерде ортақ мәселелер мен шектеулер анықталған. Олардың қатарына деректерді [4] басқарудың төмен сапасы, модельдердің түсіндірілудің әлсіздігі, қайта өндірілу деңгейінің жеткіліксіздігі, стандарттаудың жоқтығы және академиялық ашықтықтың төмендігі жатады.



1-сурет – Жасанды интеллекттің даму бағыттары мен қазіргі қоғамдағы қолданылу аясы.

Мақалада сонымен қатар модельдердің түсіндірмелілігін арттыру, деректерді басқаруды жақсарту, нәтижелердің қайта өндірілуін қамтамасыз ету және себеп-салдар байланыстарын анықтау бойынша ұсыныстар берілген [5]. Бұл ұсыныстар аталған кедергілерді жоюға және осы қуатты технологияларды тиімді енгізуді жалғастыруға мүмкіндік береді.

Ағынды суларды тазарту тазарту құрылыстарында екі кезеңде жүзеге асырылады. Бірінші кезең – механикалық тазарту, яғни көзге көрінетін қалдықтардан тазарту. Екінші кезең – биологиялық тазарту, ол соңғы тазарту сатысы болып табылады. Биологиялық тазарту аяқталғаннан кейін су тұтынушыға жіберіледі. Сондықтан ағынды суларды биологиялық тазарту су тазарту жүйесінің маңызды элементі болып табылады [6].

Су бұру және ағынды суларды тазарту нысандарын басқару жүйелерін әзірлеу мен қолдану тәжірибесінде жекелеген агрегаттарды да, тұтастай су бұру нысандарын да басқаруда интеллектуалды жүйелерді қолданудың көптеген мысалдары бар [5]. Бұл мәселенің маңыздылығына байланысты интеллектуалды басқару технологияларын әзірлеудің жалпы мәселелерімен отандық және шетелдік көптеген компаниялар айналысуда.

Алайда тазарту процестерін басқарудың дәстүрлі әдістері көбінесе бірқатар мәселелермен қатар жүреді: энергия тиімділігінің төмендігі, су сапасын бақылауды стандарттаудың қиындығы және жүктемелердің болжап болмайтын өзгерістері.

Көбінесе тазарту құрылыстарының жұмысы ағынды сулардың келіп түсуінің айтарлықтай біркелкі еместігімен және ондағы ластаушы заттар концентрациясының елеулі ауытқуларымен сипатталады [15].

Өңдеуден кейін мұндай суларда ластаушы заттардың концентрациясы рұқсат етілген деңгейден асып кетуі мүмкін, бұл қалыптасқан экожүйелердегі процестердің бұзылуына әкеледі. Тиімсіз тазарту ластаушы заттардың шекті рұқсат етілген концентрациясының артуына себеп болады [8].

Ағынды сулар әртүрлі ластаушы заттар концентрациясымен біркелкі емес түрде түседі. Осы өзгерістерге бейімделетін икемді басқару жүйесі қажет, ол аэротенкке келіп түсетін су мөлшеріне дер кезінде әрекет етуге және түсетін ластаушы заттарды сапалы тазарту үшін қажетті технологиялық параметрлерді алдын ала тандауға мүмкіндік береді.

Аэротенк – ағынды суларды биологиялық тазартуға арналған құрылыс, онда микроағзалар (белсенді лай) оттегінің көмегімен органикалық ластаушы заттарды ыдыратады. Бұл процесс судың табиғи өздігінен тазаруын еліктейді, бірақ жасанды аэрацияның арқасында әлдеқайда жылдам жүреді [6].

Зерттеу әдістері

Аэротенктер ағынды сулардың біркелкі түспеуіне өте сезімтал. Ағынның тәуліктік біркелкі еместік коэффициенті тек аэротенктердің ғана емес, сонымен қатар екінші реттік тұндырғыштардың да тиімді жұмысына әсер етеді. Себебі оттегінің берілуін басқару жүйесі ағынның өзгермелілігіне әрдайым дұрыс жауап бере алмайды. Бұл аэротенк–тұндырғыш жүйесінде судың шамадан тыс регенерациясына әкеліп, биологиялық тазарту үшін қолданылатын белсенді лайдың сапасына, соның нәтижесінде жалпы тазарту құрылыстарының жұмыс сапасына кері әсерін тигізеді.

Зерттеуде мақсатты функция ретінде ағынды сулардың тәуліктік біркелкі еместік коэффициенті қабылданды. Жүргізілген зерттеулер негізінде тәулік бойындағы су түсуін болжау үшін Python бағдарламалау тілінде нейрожелілік модельдеу қарастырылды [4]. Бұл үшін *scikit-learn* кітапханасы қолданылды. Аталған кітапхана Python тіліндегі машиналық оқытуға арналған ең танымал құралдардың бірі болып табылады. Онда классификация, регрессия және кластерлеу сияқты көптеген алгоритмдер қамтылған.

Біздің жағдайда екі параметрден тұратын деректер жиыны (датасет) пайдаланылды:

1. Күн (жыл-ай-күн форматында);
2. Тазарту құрылыстарына келіп түсетін су көлемі.

Болжау *Windowing* әдісі арқылы жүргізілді. Бұл әдіс «жылжымалы терезелерді» қолдануға негізделген және көбінесе уақыттық қатарлармен жұмыс істеуде пайдаланылады. Яғни, модель бүкіл уақыт қатары бойынша емес, белгілі бір ұзындықтағы бөліктерге (терезелерге) бөлінген деректер арқылы оқытылады. Әрбір терезе алдыңғы мәндерге сүйене отырып, келесі мәнді болжауға мүмкіндік береді.

Датасеттен алынған мәліметтер келесі кезеңдер бойынша өңделді:

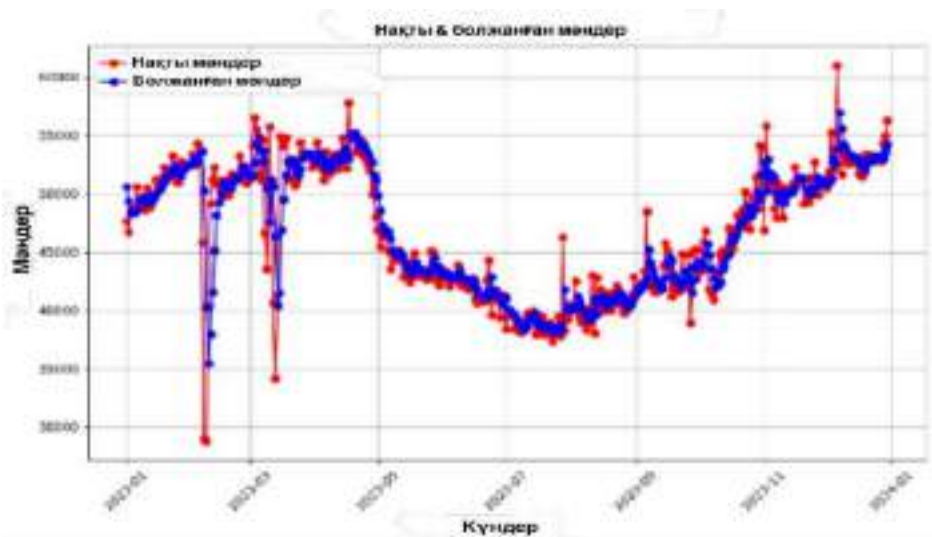
- 1) Деректер күн бойынша сұрыпталды;
- 2) Қабаттасатын терезелерді құру үшін *Windowing* функциясы анықталды;
- 3) Деректер оқу (*train data*) және тексеру (*test data*) жиындарына бөлінді;
- 4) Әрбір терезеде бос мәндер тазартылды;
- 5) Мәліметтер массивтерге қайта біріктіріліп, бос орындар орташа мәнмен толтырылды;

6) Модель оқытылып, болжау жүргізілді;

Әртүрлі машиналық оқыту модельдері арқылы болжам жасалды:

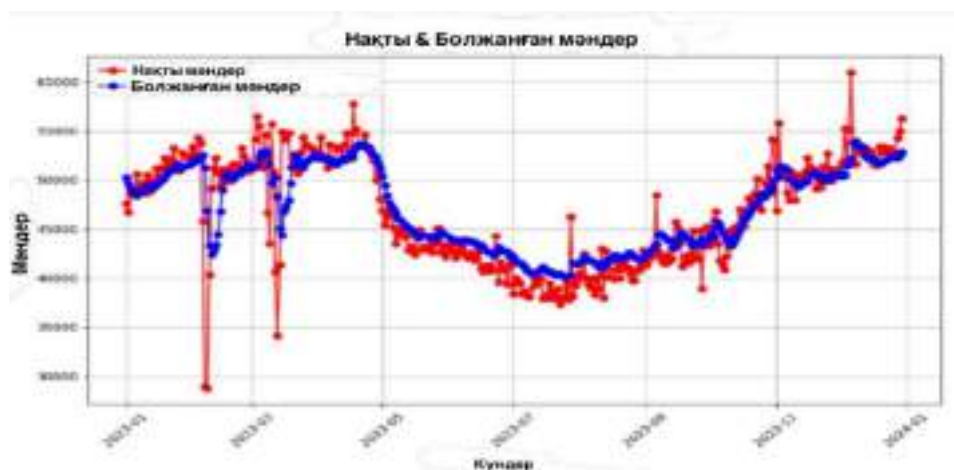
- MLP (Multilayer Perceptron) – бірнеше қабаттан тұратын жасанды нейрондық желі [10] (1-сурет);

- Support Vector Regression (SVR) – тірек векторлар әдісіне негізделген регрессиялық модель, ол үздіксіз сандық мәндерді болжауға арналған (2-сурет).



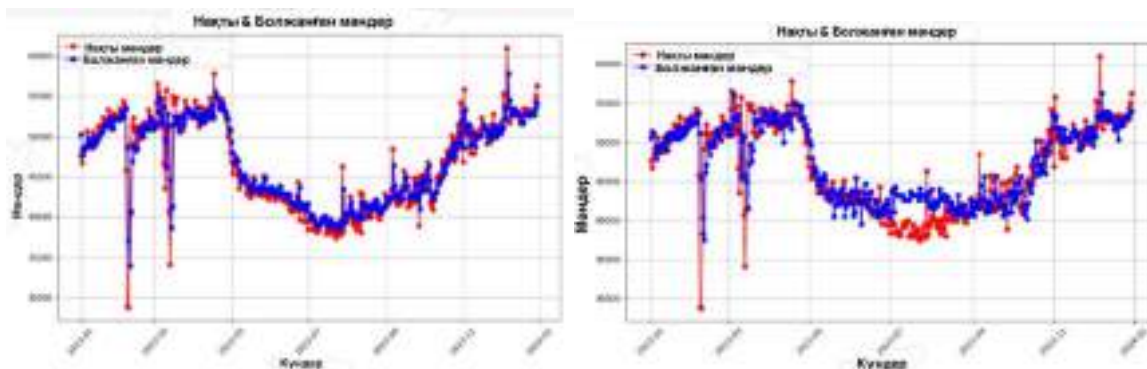
2-сурет – Нақты және болжамды мәндердің салыстырмалы графигі.

1. Lasso моделі (Least Absolute Shrinkage and Selection Operator, Лассо-регрессия) – бұл регуляризациясы бар сызықтық регрессия моделі. Ол қателіктер квадраттарының қосындысын (кәдімгі сызықтық регрессиядағыдай) минимизациялайды, бірақ сонымен қатар коэффициенттердің салмақтарына айыппұл (штраф) енгізеді (3-сурет).



3-сурет – Lasso моделінің нақты және болжамды мәндердің салыстырмалы графигі

2. KNN моделі (K-Nearest Neighbors, k-ең жақын көршілер әдісі) – машиналық оқытудың ең қарапайым және түсінікті алгоритмдерінің бірі. Ол классификация, регрессия, сондай-ақ кейбір жағдайларда кластерлеу және аномалияларды анықтау үшін қолданылады [9] (4-сурет).



4-сурет – KNN моделінің нақты және болжамды мәндердің салыстырмалы графигі

Алынған нәтижелер графиктер түрінде көрсетіледі, онда бастапқы деректер мен модельдер арқылы болжанған деректер бейнеленеді. Болжанған мәліметтер қажет болған жағдайда кейінгі өңдеу үшін жеке файлдарға сақталады.

Детерминация коэффициенті есептеледі, ол модельдің тәуелді айнымалыны қаншалықты дәл болжайтынын көрсетеді. Бұл коэффициент 1-ге неғұрлым жақын болса, болжау соғұрлым дәл болады.

Зерттеу нәтижесінде ең жақсы көрсеткіштер MLP моделі арқылы алынды: $R^2 = 0.93$. Бақылаулар саны артқан сайын бұл коэффициент 1-ге жақындай түседі.

Алынған нейрожелі аэрация процесін басқаруды оңтайландыру үшін қолданылады. Бұл энергия шығындарын азайтып, ағынды суларды тазарту тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Жүйе келіп түсетін ағынды сулар бойынша болжамдық деректерді талдап, аэраторлар мен компрессорлардың жұмысын динамикалық түрде реттейді.

Қорытынды

Болжамдық аналитиканы аэротенктерді басқару жүйелерімен біріктіру синергетикалық әсерге қол жеткізуге мүмкіндік береді [5]:

Келіп түсетін ағынды сулардың параметрлерін болжау жүйенің жұмысын алдын ала түзетуге мүмкіндік береді.

Аэрацияны және белсенді лайдың күйін бейімделген түрде басқару энергия тұтынуды азайтып, биологиялық тазарту тиімділігін арттырады.

Үздіксіз мониторинг пен кері байланыс жүйеге өзгерістерге жедел әрекет етуге мүмкіндік беріп, процестің тұрақтылығын қамтамасыз етеді және апаттық жағдайлардың алдын алады [9].

Осылайша, нейрожелілік алгоритмдер SCADA жүйелерімен үйлесімде тазарту құрылыстарын интеллектуалды автоматтандырудың негізін қалыптастырады. Бұл ағынды суларды тазарту сапасын жақсартумен қатар, энергия ресурстарын үнемдеуге, пайдалану шығындарын азайтуға және экологиялық қауіпсіздікті арттыруға ықпал етеді.

Әдебиеттер:

1. B. Adibimanesh, S. Polesek-Karczewska, F. Bagherzadeh, P. Szczuko u T. Shafighfard, *Energy consumption optimization in wastewater treatment plants: Machine learning for monitoring incineration of sewage sludge*, *Sustain. Energy Technol. Assessments*, 2023, 56, 103040, DOI:10.1016/j.seta.2023.103040.
2. E. Aghdam, S. R. Mohandes, P. Manu, C. Cheung, A. Yunusa-Kaltungo u T. Zayed, *Predicting quality parameters of wastewater treatment plants using artificial intelligence techniques*, *J. Clean. Prod.*, 2023, 405, 137019, DOI:10.1016/j.jclepro.2023.137019.

3. Y. Alali, F. Harrou u Y. Sun, *Unlocking the Potential of Wastewater Treatment: Machine Learning Based Energy Consumption Prediction*, *Water*, 2023, 15, 2349, DOI:10.3390/w15132349.
4. M. Bahramian, R. K. Dereli, W. Zhao, M. Giberti u E. Casey, *Data to intelligence: The role of data-driven models in wastewater treatment*, *Expert Syst. Appl.*, 2023, 217, 119453, DOI:10.1016/j.eswa.2022.119453.
5. V. Ganthavee u A. P. Trzcinski, *Artificial intelligence and machine learning for the optimization of pharmaceutical wastewater treatment systems: a review*, *Environ. Chem. Lett.*, 2024, 22, 2293–2318, DOI:10.1007/s10311-024-01748-w.
6. S. K. Bhagat, K. E. Pilario, O. E. Babalola, T. Tiyasha, M. Yaqub, C. E. Onu, K. Pyrgaki, M. W. Falah, A. H. Jawad, D. A. Yaseen, N. Barka u Z. M. Yaseen, *Comprehensive review on machine learning methodologies for modeling dye removal processes in wastewater*, *J. Clean. Prod.*, 2023, 385, 135522, DOI:10.1016/j.jclepro.2022.135522.
7. T. C. Ekundayo, M. A. Adewoyin, O. A. Ijabadeniyi, E. O. Igbinosa u A. I. Okoh, *Machine learning-guided determination of Acinetobacter density in waterbodies receiving municipal and hospital wastewater effluents*, *Sci. Rep.*, 2023, 13, DOI:10.1038/s41598-023-34963-6.
8. M. A. P. Cechinel, J. Neves, J. V. R. Fuck, R. C. De Andrade, N. Spogis, H. G. Riella, N. Padoin u C. Soares, *Enhancing wastewater treatment efficiency through machine learning-driven effluent quality prediction: A plant-level analysis*, *J. Water Proc. Eng.*, 2024, 58, 104758, DOI:10.1016/j.jwpe.2023.104758.
9. A. Elsayed, M. Ghaith, A. Yosri, Z. Li u W. El-Dakhakhni, *Genetic programming expressions for effluent quality prediction: Towards AI-driven monitoring and management of wastewater treatment plants*, *J. Environ. Manage.*, 2024, 356, 120510, DOI:10.1016/j.jenvman.2024.120510.
10. N. Khatri, K. K. Khatri u A. Sharma, *Prediction of effluent quality in ICEAS-sequential batch reactor using feedforward artificial neural network*, *Water Sci. Technol.*, 2019, 80, 213–222, DOI:10.2166/wst.2019.257.

УДК 628.16

Тохтиев И.А., ст. гр. ВИПиУ 23-1* МОК (КазГАСА)
Касабекова Г.Т., ассист.-проф. МОК (КазГАСА)

ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ И НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СФЕРЕ ВОДООТВЕДЕНИЯ

В статье рассматриваются современные инновационные решения и новые технологии в области водоотведения. Особое внимание уделяется внедрению цифровых систем управления, развитию «умных» канализационных сетей, применению мембранных методов очистки и использованию искусственного интеллекта. Анализируются подходы к созданию экологически устойчивых систем, включая зеленую инфраструктуру и децентрализованные очистные сооружения. Также рассмотрены современные материалы трубопроводов и технологии диагностики инженерных сетей. Показано, что развитие гидротехника и экология играет ключевую роль в повышении эффективности и надежности систем водоотведения. Сделан вывод о необходимости комплексного внедрения инноваций для обеспечения устойчивого развития городской инфраструктуры.

Ключевые слова: водоотведение, сточные воды, инновационные технологии, умные системы, цифровизация, мембранные технологии, обратный осмос, зеленая инфраструктура, ливневая канализация, очистка сточных вод, децентрализованные системы, искусственный интеллект, инженерные сети, экологическая устойчивость.

Бұл мақалада ағынды суларды ағызу саласындағы заманауи инновациялық шешімдер мен жаңа технологиялар қарастырылады. Сандық басқару жүйелерін енгізуге, ақылды кәріз желілерін дамытуға, мембраналық тазарту әдістерін пайдалануға және жасанды интеллектті пайдалануға ерекше назар аударылады. Экологиялық тұрғыдан тұрақты жүйелерді, соның ішінде жасыл инфрақұрылым мен орталықсыздандырылған тазарту қондырғыларын құру тәсілдері талданады. Заманауи құбыр

материалдары мен коммуналдық желі диагностикалық технологиялар да қарастырылады. Гидравликалық инженерия мен қоршаған орта ғылымындағы жетістіктер ағынды суларды ағызу жүйелерінің тиімділігі мен сенімділігін арттыруда маңызды рөл атқаратыны көрсетілген. Қалалық инфрақұрылымның тұрақты дамуын қамтамасыз ету үшін кешенді инновациялардың қажеттілігі туралы қорытынды жасалады.

Түйін сөздер: су бұру, сарқынды сулар, инновациялық технологиялар, smart жүйелер, цифрландыру, мембраналық технологиялар, кері осмос, жасыл инфрақұрылым, нөсерлі канализация, ағынды суларды тазарту, орталықтандырылмаған жүйелер, жасанды интеллект, инженерлік желілер, экологиялық тұрақтылық.

This article examines modern innovative solutions and new technologies in wastewater disposal. Particular attention is paid to the implementation of digital control systems, the development of smart sewer networks, the use of membrane treatment methods, and the application of artificial intelligence. Approaches to creating environmentally sustainable systems, including green infrastructure and decentralized treatment facilities, are analyzed. Modern pipeline materials and utility network diagnostic technologies are also considered. It is shown that the development of hydraulic engineering and environmental protection plays a key role in improving the efficiency and reliability of wastewater disposal systems. A conclusion is drawn regarding the need for comprehensive innovation to ensure the sustainable development of urban infrastructure.

Keywords: water drainage, wastewater, innovative technologies, smart systems, digitalization, membrane technologies, reverse osmosis, green infrastructure, storm sewers, wastewater treatment, decentralized systems, artificial intelligence, engineering networks, environmental sustainability.

Введение

Современные города сталкиваются с растущими нагрузками на системы водоотведения из-за урбанизации [1], изменения климата и увеличения объемов сточных вод. Традиционные системы канализации уже не всегда справляются с новыми вызовами, поэтому возникает необходимость внедрения инновационных решений. Развитие гидротехника и экология привело к появлению технологий, направленных на повышение эффективности, экологичности и устойчивости систем водоотведения.

1. Умные системы водоотведения (Smart Sewer Systems)

Одним из ключевых направлений является цифровизация инфраструктуры [6].

Основные элементы:

- датчики уровня воды;
- системы мониторинга в реальном времени;
- автоматическое управление потоками.

Такие системы позволяют:

- предотвращать затопления;
- быстро выявлять аварии;
- оптимизировать работу сети.

Применение программных решений, например SCADA, делает возможным централизованное управление всей системой канализации [5].

Зеленая инфраструктура

Современный подход предполагает не только отвод воды, но и её естественное поглощение и очистку [5].

К инновационным решениям относятся:

- дождевые сады;
- зеленые крыши;
- биоретенционные системы;
- инфильтрационные траншеи.

Эти технологии:

- уменьшают нагрузку на ливневую канализацию;
- способствуют пополнению грунтовых вод;
- улучшают экологическую обстановку.

Мембранные технологии очистки [7]

Одной из наиболее перспективных технологий является использование мембран.

Пример:

- ультрафильтрация;
- нанофильтрация;
- обратный осмос.

Эти методы позволяют:

- удалять мельчайшие загрязнения;
- повторно использовать очищенную воду.

Широкое применение получил процесс обратный осмос, обеспечивающий высокую степень очистки сточных вод.

Децентрализованные системы водоотведения [4]

Вместо крупных очистных сооружений всё чаще применяются локальные решения.

Преимущества:

- снижение нагрузки на центральные сети;
- экономия на строительстве;
- возможность использования в удалённых районах.

Примеры:

- локальные очистные станции;
- модульные системы;
- септики нового поколения.

Использование искусственного интеллекта

Искусственный интеллект (AI) активно внедряется в управление системами водоотведения.

Возможности:

- прогнозирование осадков;
- моделирование нагрузки;
- автоматическое регулирование потоков.

AI помогает:

- предотвращать аварии;
- снижать эксплуатационные затраты;
- повышать эффективность работы системы.

Роботизация и диагностика трубопроводов

Современные технологии позволяют проводить диагностику без вскрытия труб.

Используются:

- роботы-инспекторы;
- видеокамеры;
- лазерные сканеры.

Это позволяет:

- выявлять повреждения;
- оценивать износ труб;

- планировать ремонт.

Энергоэффективные технологии

Современные системы водоотведения стремятся к снижению энергопотребления.

Решения:

- использование энергоэффективных насосов;
- генерация энергии из сточных вод;
- оптимизация гидравлических режимов;

Повторное использование сточных вод

Важным направлением является переход к замкнутому циклу водопользования.

Применение очищенной воды:

- технические нужды;
- полив;
- промышленность.

Это особенно актуально в регионах с дефицитом воды.

Новые материалы для трубопроводов

Инновации затронули и строительные материалы.

Используются:

- полимерные трубы;
- композитные материалы;
- антикоррозионные покрытия.

Преимущества:

- долговечность;
- устойчивость к агрессивной среде;
- снижение затрат на обслуживание.

Заключение

Инновационные технологии в области водоотведения направлены на создание устойчивых, экологичных и эффективных систем. Современные решения позволяют не только отводить сточные воды, но и рационально использовать ресурсы, снижая негативное воздействие на окружающую среду.

Развитие цифровых технологий, внедрение искусственного интеллекта, применение новых материалов и экологических подходов формируют будущее водоотведения. В условиях глобальных изменений климата и роста населения такие инновации становятся не просто желательными, а необходимыми.

Литература:

1. Всемирная организация здравоохранения. Руководство по качеству воды и санитарии. – Женева, 2020.
2. Международная водная ассоциация. Wastewater Management and Resource Recovery. – London, 2019.
3. Иванов И.И. Водоотведение и очистка сточных вод. – М.: Стройиздат, 2018.
4. Петров П.П. Современные системы канализации. – СПб.: Питер, 2021.
5. SCADA в системах водоснабжения и водоотведения / под ред. Сидорова А.А. – М., 2022.
6. Смирнова Е.В. Экологические аспекты очистки сточных вод. – Казань, 2020.
7. обратный осмос и мембранные технологии: учебное пособие / под ред. Кузнецова Д.В. – М., 2019.
8. Министерство экологии и природных ресурсов Республики Казахстан. Нормативы в области водоотведения. – Астана, 2023.

Уразбек Н.А., ИСиС-33 студенті, Л.Н. Гумилёв атындағы Еуразия
Ұлттық университеті

Утепбергенова Л.М., доцент м.а., т.ғ.к., Л.Н. Гумилёв атындағы Еуразия
Ұлттық университеті

АСТАНА ҚАЛАСЫНЫҢ ҚҰБЫРЛАРЫНДАҒЫ СУ ШЫҒЫНДАРЫ: ТАЛДАУ, ОҢТАЙЛАНДЫРУ ЖӘНЕ ШЕШУ ЖОЛДАРЫ

Бұл мақалада сумен жабдықтау жүйесінің қазіргі жағдайы, су жоғалтуларының себептері, сондай-ақ оларды азайтуға бағытталған заманауи әдістер мен ұсыныстар қарастырылады.

Түйін сөздер: су жоғалтулары, сумен жабдықтау жүйесі, құбыр желілері, су ресурстарын басқару, цифрландыру, SCADA жүйесі, су есепке алу, урбанизация, инфрақұрылым, тұрақты даму, су үнемдеу, инновациялық технологиялар.

В данной статье рассматриваются текущее состояние системы водоснабжения, причины потерь воды, а также современные методы и рекомендации, направленные на их снижение.

Ключевые слова: потери воды, система водоснабжения, трубопроводные сети, управление водными ресурсами, цифровизация, система SCADA, учет воды, урбанизация, инфраструктура, устойчивое развитие, водосбережение, инновационные технологии.

This article examines the current state of the water supply system, the causes of water losses, as well as modern methods and recommendations aimed at reducing them.

Keywords: water losses, water supply system, pipeline networks, water resource management, digitalization, SCADA system, water metering, urbanization, infrastructure, sustainable development, water conservation, innovative technologies.

Қазіргі таңда урбанизацияның қарқынды дамуы, халық санының өсуі және табиғи ресурстарға түсетін жүктеменің артуы сумен жабдықтау жүйелерінің тиімділігін арттыру мәселесін өзекті етеді. Астана қаласы да бұл үрдістерден тыс емес. Қаладағы су ресурстарына сұраныстың өсуі, инженерлік инфрақұрылымның тозуы және басқару жүйелерінің жеткіліксіз тиімділігі су жоғалтулардың артуына әкеліп отыр. Су тек экономикалық ресурс емес, сонымен қатар экологиялық және әлеуметтік маңызы бар стратегиялық фактор болып табылады.

Астана қаласындағы су құбырлары жүйесіндегі су шығындарын талдау, олардың негізгі себептерін анықтау және тиімді шешу жолдарын ұсыну – тұрақты қалалық даму үшін маңызды міндеттердің бірі.

Су жоғалтулары – сумен жабдықтау жүйесінде өндірілген немесе жүйеге берілген судың тұтынушыға толық көлемде жетпеуі нәтижесінде жоғалатын су мөлшері. Бұл көрсеткіш су шаруашылығы жүйесінің тиімділігін сипаттайтын негізгі индикаторлардың бірі болып табылады.

Су жоғалтулары екі негізгі түрге бөлінеді: физикалық және коммерциялық.

Физикалық жоғалтулар құбыр желілерінің техникалық жағдайымен тікелей байланысты. Оларға құбырлардың тозуы, коррозия, ағып кетулер, қосылыстардың герметизациясының бұзылуы, сондай-ақ апаттық жағдайлар жатады. Мұндай жоғалтулар көбінесе ұзақ уақыт пайдаланылған инфрақұрылымда және уақтылы жөндеу жұмыстары жүргізілмеген жағдайда байқалады.

Коммерциялық жоғалтулар суды есепке алу жүйесіндегі кемшіліктермен байланысты. Оларға су есептегіш құралдарының дәл жұмыс істемеуі, есепке алынбаған су

тұтыну, деректерді өңдеу қателіктері және заңсыз қосылулар жатады. Бұл жағдайда су физикалық түрде жоғалмайды, бірақ есепке алынбағандықтан экономикалық шығын ретінде қарастырылады.

Астана қаласындағы су жоғалтуларының негізгі себептері төмендегідей:

- 1) құбыр желілерінің физикалық тозуы және ұзақ мерзім пайдаланылуы;
- 2) жобалау және монтаждау кезіндегі техникалық қателіктер;
- 3) су қысымының дұрыс реттелмеуі және гидравликалық режимдердің бұзылуы;
- 4) су есепке алу жүйелерінің жеткіліксіз дамуы және ескі құралдарды пайдалану;
- 5) заңсыз су пайдалану және жүйеге рұқсатсыз қосылулар;
- 6) бақылау және мониторинг жүйелерінің әлсіздігі, деректердің жеткіліксіздігі.

Аталған факторлар бір-бірімен тығыз байланысты және сумен жабдықтау жүйесінің жалпы тиімділігіне кешенді түрде әсер етеді. Сондықтан су жоғалтуларын азайту үшін тек жекелеген шаралар емес, жүйелі және кешенді басқару тәсілдерін қолдану қажет.

Астана қаласының сумен жабдықтау жүйесі – халықты, өнеркәсіптік және әлеуметтік нысандарды сумен қамтамасыз ететін күрделі инженерлік кешен болып табылады. Оның құрамына су алу құрылыстары, су тазарту станциялары, сорғы станциялары және тарату құбыр желілері кіреді. Қаланың негізгі су көзі ретінде Астаналық су қоймасы пайдаланылады, сонымен қатар жерасты сулары мен қосымша су арналары да маңызды рөл атқарады.

Қаланың қарқынды дамуы, урбанизация үдерісінің күшеюі және халық санының тұрақты өсуі сумен жабдықтау жүйесіне түсетін жүктемені айтарлықтай арттырды. Осыған байланысты қазіргі уақытта жүйе бірқатар күрделі мәселелерге тап болуда:

- 1) құбыр желілерінің ұзақ уақыт пайдаланылуына байланысты физикалық және моральдық тозуы;
- 2) апаттық жағдайлардың жиі орын алуы және жөндеу жұмыстарының көбеюі;
- 3) су сапасының кейбір учаскелерде төмендеуі;
- 4) су шығындарының жоғары деңгейі және оларды толық бақылаудың жеткіліксіздігі.

Қаладағы су құбыры желілерінің жалпы ұзындығы мыңдаған километрді құрайды, бұл олардың техникалық жағдайын толық әрі үздіксіз бақылауды қиындатады. Сонымен қатар, кейбір инфрақұрылым нысандарының тозуы мен техникалық сипаттамаларының ескіруі жүйенің тиімді және сенімді жұмыс істеуіне кедергі келтіреді.

Жоғарыда аталған мәселелер Астана қаласының сумен жабдықтау жүйесін жаңғыртудың, заманауи технологияларды енгізудің және басқару тиімділігін арттырудың қажеттілігін айқын көрсетеді.

Су шығындарының жоғары деңгейі сумен жабдықтау жүйесінің тиімділігіне айтарлықтай кері әсер етіп, бірқатар экономикалық, экологиялық және әлеуметтік салдарға алып келеді. Бұл мәселе тек инженерлік тұрғыдан ғана емес, сонымен қатар тұрақты даму мен ресурстарды ұтымды басқару тұрғысынан да маңызды болып табылады.

Экономикалық салдар:

- 1) су өндіру, тазарту және тасымалдау шығындарының артуы;
- 2) коммуналдық кәсіпорындардың қаржылық тиімділігінің төмендеуі;
- 3) апаттарды жою және желілерді жөндеуге қосымша қаржының қажеттілігі;
- 4) су ресурстарының есепке алынбауы салдарынан табыстың азаюы.

Су жоғалтулары артқан сайын, сумен жабдықтау ұйымдарына түсетін қаржылық жүктеме де ұлғаяды, бұл тарифтердің өсуіне немесе қызмет сапасының төмендеуіне әкелуі мүмкін.

Экологиялық салдар:

- 1) су ресурстарының шамадан тыс пайдаланылуы және тиімсіз жұмсалуды;
- 2) табиғи су көздерінің сарқылуы және гидрологиялық теңгерімнің бұзылуы;
- 3) экожүйелердің деградациясы және биоалуантүрліліктің төмендеуі;
- 4) қоршаған ортаға түсетін антропогендік жүктеменің артуы.
- 5) судың орынсыз жоғалуы табиғи ресурстарға қосымша қысым түсіріп, ұзақ мерзімді перспективада экологиялық тұрақтылыққа қауіп төндіреді.

Әлеуметтік салдар:

- 1) сумен жабдықтаудың тұрақсыздығы және үзілістердің жиілеуі;
 - 2) тұрғындардың өмір сүру сапасының төмендеуі;
 - 3) халықтың коммуналдық қызметтерге деген сенімінің азаюы;
 - 4) әлеуметтік шиеленістің арту қаупі.
- Су – халықтың күнделікті өміріндегі ең маңызды ресурстардың бірі болғандықтан, оның тапшылығы немесе тұрақсыз жеткізілуі қоғамның әл-ауқатына тікелей әсер етеді.

Осылайша, су жоғалтулары мәселесі тек техникалық сипаттағы проблема емес, ол экономикалық, экологиялық және әлеуметтік аспектілерді қамтитын кешенді мәселе болып табылады. Сондықтан оны шешу үшін жүйелі және көпқырлы тәсілдерді қолдану қажет.

Су жоғалтуларын азайту – сумен жабдықтау жүйесінің тиімділігін арттырудың негізгі бағыттарының бірі болып табылады. Бұл мақсатқа жету үшін техникалық, технологиялық және ұйымдастырушылық шараларды біріктіретін кешенді тәсілді қолдану қажет. Мұндай тәсіл жүйенің сенімділігін арттыруға, ресурстарды үнемдеуге және экономикалық тиімділікті қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

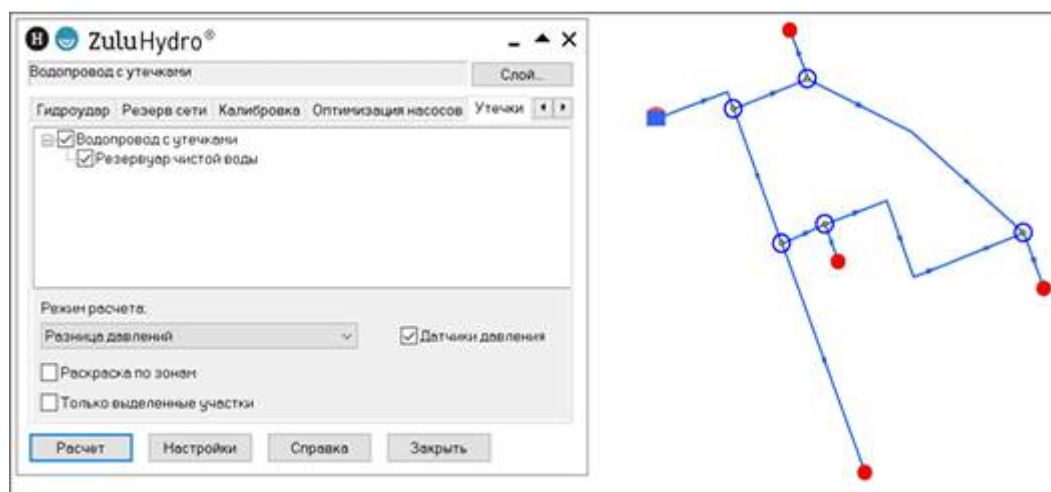
Су шығындарын төмендетудің негізгі бағыттары төмендегідей:

Техникалық шаралар:

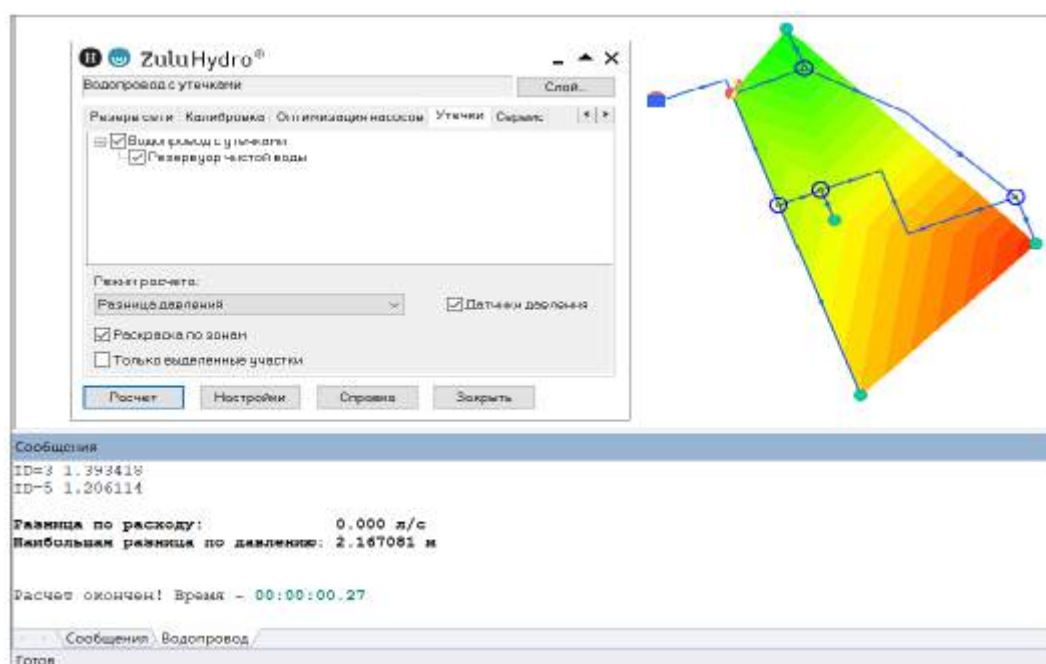
- 1) тозған және апаттық жағдайдағы құбыр желілерін кезең-кезеңімен жаңарту, заманауи және берік материалдарды (полиэтилен, ПВХ және т.б.) қолдану;
- 2) су құбыры жүйесінде қысымды басқару жүйелерін енгізу, бұл ағып кетулердің көлемін азайтуға мүмкіндік береді;
- 3) жасырын ағып кетулерді анықтау үшін заманауи датчиктер мен акустикалық бақылау құралдарын пайдалану;
- 4) гидравликалық модельдеу негізінде желінің жұмыс режимін оптимизациялау және әлсіз учаскелерді анықтау.

Мониторинг және цифрландыру:

- 1) SCADA жүйелерін енгізу арқылы сумен жабдықтау жүйесінің негізгі параметрлерін орталықтандырылған түрде басқару және бақылау;
- 2) интеллектуалды су есептегіш құралдарын қолдану, бұл су тұтынуды нақты есепке алуға және жоғалтуларды анықтауға мүмкіндік береді;
- 3) нақты уақыт режимінде деректерді жинау және талдау жүйелерін енгізу;
- 4) апаттық жағдайларды ерте анықтайтын және жедел әрекет етуге мүмкіндік беретін автоматтандырылған жүйелерді пайдалану.



1-сурет – Қысым аспаптары бар нүктелер.



2-сурет – Қысымдардың айырмашылығы тематикалық бояуда көрсетілген.

Ұйымдастырушылық шаралар:

- 1) халық арасында су ресурстарын үнемді пайдалану мәдениетін қалыптастыру және ағартушылық жұмыстар жүргізу;
- 2) заңсыз қосылулар мен рұқсатсыз су пайдалануды анықтау және алдын алу шараларын күшейту;
- 3) тарифтік саясатты жетілдіру арқылы суды үнемдеуге ынталандыру;
- 4) сумен жабдықтау кәсіпорындарының қызметін оңтайландыру және басқару тиімділігін арттыру.

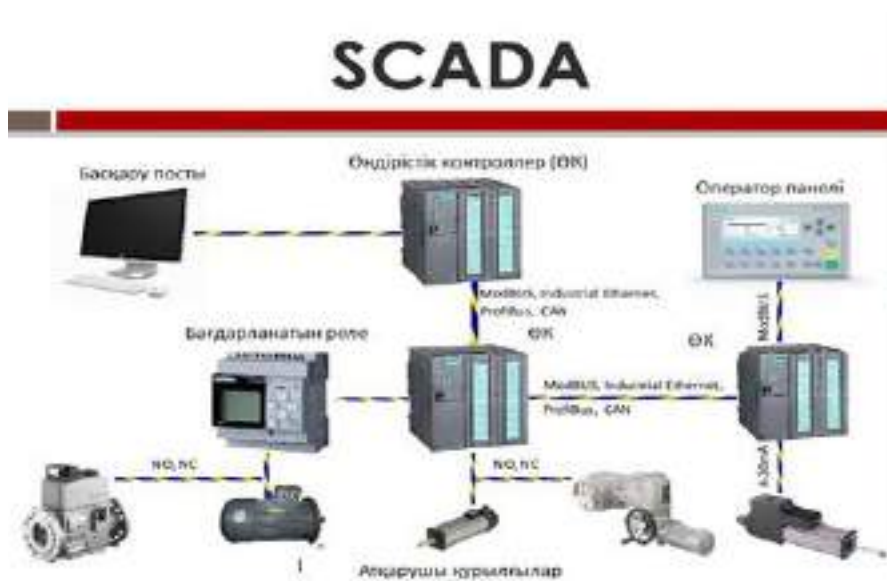
Осы шараларды кешенді түрде жүзеге асыру су жоғалтуларын айтарлықтай төмендетуге, сумен жабдықтау жүйесінің сенімділігін арттыруға және ресурстарды тиімді пайдалануға мүмкіндік береді.

Қазіргі кезеңде сумен жабдықтау жүйелерін басқаруда цифрлық және инновациялық технологиялар маңызды рөл атқарады. Олар жүйенің тиімділігін арттыруға, су ре-

сурстарын ұтымды пайдалануға және су жоғалтуларын азайтуға мүмкіндік береді. Әсіресе ірі қалаларда, соның ішінде Астана жағдайында, мұндай технологияларды енгізу стратегиялық маңызға ие.

Интеллектуалды су есепке алу жүйелері суды тұтынуды дәл әрі үздіксіз бақылауға мүмкіндік береді. Бұл жүйелер арқылы нақты тұтыну көлемі анықталып, есепке алынбаған су шығындарын азайтуға жағдай жасалады. Сонымен қатар, деректерді автоматты түрде жинау және өңдеу басқару шешімдерінің сапасын арттырады.

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) жүйелері сумен жабдықтау желісінің негізгі параметрлерін, атап айтқанда қысымды, су деңгейін, сорғылардың жұмыс режимін және басқа да көрсеткіштерді нақты уақыт режимінде бақылауға мүмкіндік береді. Бұл апаттық жағдайларды жедел анықтауға және уақытылы шешім қабылдауға жағдай жасайды.



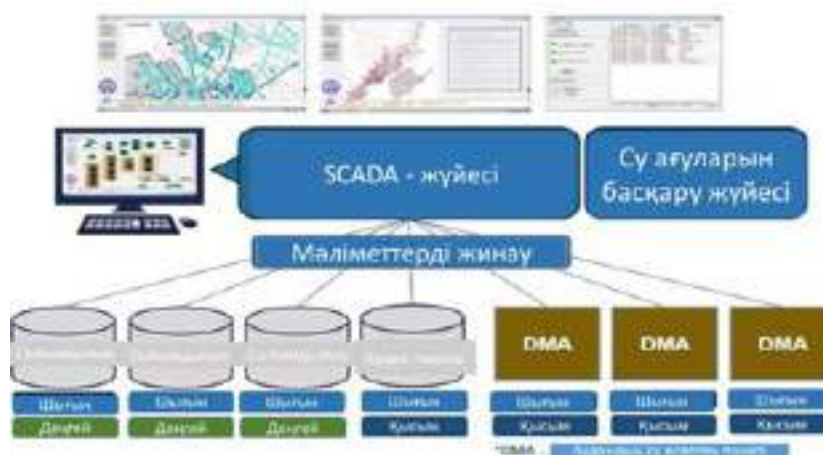
3-сурет – SCADA жүйесінің типтік моделі

Сонымен қатар, келесі заманауи технологиялар кеңінен қолданылуда:

- 1) IoT (заттар интернеті) технологиялары арқылы су құбыры жүйелерін автоматтандыру және қашықтан басқару;
- 2) географиялық ақпараттық жүйелер (ГАЗ) көмегімен су құбыры желілерінің құрылымын талдау және ақаулы учаскелерді анықтау;
- 3) үлкен деректерді (Big Data) талдау арқылы су тұтыну үрдістерін болжау және басқару тиімділігін арттыру;
- 4) ағып кетулерді анықтайтын интеллектуалды сенсорлар мен мониторинг жүйелері.

Аталған технологияларды кешенді түрде енгізу сумен жабдықтау жүйесінің сенімділігін арттыруға, апаттық жағдайларды азайтуға және су жоғалтуларын айтарлықтай төмендетуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, цифрлық трансформация су ресурстарын басқарудың жаңа деңгейіне көшуге жағдай жасайды.

Астана қаласының су құбырларындағы су жоғалтуларын азайту үшін кешенді және жүйелі шараларды жүзеге асыру қажет. Бұл бағытта техникалық жаңғырту, цифрлық технологияларды енгізу, сондай-ақ басқару мен ұйымдастыру тәсілдерін жетілдіру маңызды рөл атқарады.



4-сурет – SCADA-жүйесімен DMA жүйесін біріктіру сұлбасы.

Бірінші кезекте, құбыр желілерін кезең-кезеңімен жаңғырту қажет. Тозған және апаттық жағдайдағы құбырларды заманауи материалдарға ауыстыру су ағуларын азайтып, жүйенің сенімділігін арттырады. Сонымен қатар, қысымды басқару аймақтарын енгізу арқылы желідегі артық қысымды төмендетіп, ағып кетулердің алдын алуға болады.

Екінші маңызды бағыт – цифрлық технологияларды кеңінен енгізу. Интеллектуалды су есепке алу жүйелері мен SCADA платформаларын қолдану су тұтынуды нақты бақылауға және ақауларды жедел анықтауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, ағып кетулерді анықтайтын сенсорлар мен автоматтандырылған мониторинг жүйелері су шығындарын тиімді басқаруға жағдай жасайды.

Үшінші бағыт – су ресурстарын басқару жүйесін жетілдіру. Бұл ретте тарифтік саясатты қайта қарау, суды үнемдеуге ынталандыратын экономикалық тетіктерді енгізу және сумен жабдықтау ұйымдарының жұмыс тиімділігін арттыру қажет.

Төртінші бағыт – әлеуметтік және ағартушылық шаралар. Халық арасында су үнемдеу мәдениетін қалыптастыру, суды ұтымды пайдалану туралы ақпараттық бағдарламалар жүргізу маңызды. Әсіресе мектеп оқушылары мен жастар арасында экологиялық тәрбие беру ұзақ мерзімді нәтижелерге қол жеткізуге мүмкіндік береді.

Сонымен қатар, су ресурстарын тиімді пайдалану мақсатында жаңбыр суларын жинау, техникалық суды қайта пайдалану сияқты баламалы шешімдерді енгізу ұсынылады. Бұл ауыз суға түсетін жүктемені азайтып, жалпы су тұтынуды төмендетуге ықпал етеді.

Жалпы алғанда, ұсынылған шараларды кешенді түрде жүзеге асыру Астана қаласының сумен жабдықтау жүйесінің тиімділігін арттырып, су жоғалтуларын айтарлықтай азайтуға мүмкіндік береді. Бұл өз кезегінде қаланың тұрақты дамуын қамтамасыз етуге және тұрғындардың өмір сүру сапасын жақсартуға негіз болады.

Астана қаласының су құбырларындағы су жоғалтулары мәселесі қазіргі таңда өзекті әрі көпқырлы сипатқа ие. Зерттеу барысында сумен жабдықтау жүйесінің қазіргі жағдайы талданып, су жоғалтуларының негізгі себептері мен олардың салдары жан-жақты қарастырылды. Анықталғандай, су шығындарының негізгі үлесі құбыр желілерінің тозуына, бақылау жүйелерінің жеткіліксіз дамуына және суды есепке алу деңгейінің төмендігіне байланысты.

Су жоғалтулары тек техникалық мәселе ғана емес, ол экономикалық шығындарға, экологиялық тепе-теңдіктің бұзылуына және халықтың өмір сапасының төмендеуіне алып келетін кешенді проблема болып табылады. Осыған байланысты оны шешу бір ғана бағытта емес, бірнеше деңгейде жүзеге асырылуы тиіс.

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, су шығындарын азайту үшін ең тиімді тәсіл – бұл техникалық жаңғырту, цифрлық технологияларды енгізу және басқару жүйесін жетілдіруді біріктіретін кешенді тәсіл. Атап айтқанда, құбыр желілерін жаңарту, қысымды басқару, интеллектуалды есепке алу жүйелерін енгізу және SCADA сияқты заманауи технологияларды қолдану су жоғалтуларын айтарлықтай төмендетуге мүмкіндік береді.

Сонымен қатар, су ресурстарын тиімді пайдалану мәдениетін қалыптастыру, заңсыз су пайдаланумен күресу және тарифтік саясатты жетілдіру де маңызды рөл атқарады. Бұл шаралар тек техникалық тиімділікті ғана емес, сонымен қатар әлеуметтік жауапкершілікті арттыруға бағытталған.

Жалпы алғанда, ұсынылған ғылыми негізделген әдістер мен практикалық ұсыныстар Астана қаласының сумен жабдықтау жүйесін жетілдіруге, су жоғалтуларын азайтуға және ресурстарды ұтымды пайдалануға мүмкіндік береді. Бұл өз кезегінде қаланың тұрақты дамуын қамтамасыз етіп, болашақ ұрпақ үшін су ресурстарын сақтауға ықпал етеді.

Әдебиеттер:

1. Громов Г.Н., Примин О.Г., Бычков Д.А. Модель расчета потерь и неучтённых расходов воды в водопроводной сети г. Тюмени// Водоснабжение и санитарная техника. – 2016. – №9. – С. 16-22.
2. Примин О.Г. Стратегия управления потерями воды// Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения – 2014. – №2. – С. 38-46.
3. О.Г. Примин, «Су жоғалтулары»: монография – МИСИ: Издательство МГСУ, 2022.
4. Баишатов В.В., Мусостов З.Р., «Анализ рисков, связанных с потерями воды в сетях водоснабжения» ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ//cyberleninka// Естественно-гуманитарные исследования. – 2021. – №38/6.
5. Абдымажитова А.А. Астана қаласының құбырларындағы су шығындары: талдау, оңтайландыру және шешу жолдары: Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, магистрлік диссертация. – Астана, 2025.

ӘОЖ 628.2

Үсенбаева А.З., М127 – Инженерлік жүйелер және желілер, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық университеті

Жаркенов Е.Б., қауымд.проф., Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық университеті

КӨППӘТЕРЛІ ТҰРҒЫН ҮЙЛЕРДЕ КОММУНАЛДЫҚ-ТҰРМЫСТЫҚ САРҚЫНДЫ СУЛАРДЫ БӨЛУ

Қазіргі кезеңде қалалық тұрғын үй секторындағы суды үнемдеу, экологиялық қауіпсіздік және коммуналдық инфрақұрылымның тиімділігін арттыру мақсатында көппәтерлі тұрғын үйлерден шыққан тұрмыстық сарқынды суларды бөлу мәселесі практикалық және ғылыми маңызы бар бағытқа айналды. Бұл мақалада бөлу қажеттілігі мен негіздері, қағидалары, нормативтік талаптары, қолданылатын технологиялар және қалалық жүйеге әсер етуі кешенді түрде қарастырылады.

Түйін сөздер: сарқынды сулар, бөлу жүйесі, қайта пайдалану, көппәтерлі үйлер, инженерлік жүйелер.

В современный период вопросы водо-сбережения в городском жилищном секторе, экологической безопасности и повышения эффективности коммунальной инфраструктуры обуславливают актуальность разделения бытовых сточных вод, образующихся в многоквартирных жилых зданиях. Данное направление приобретает как практическое, так и научное значение. В статье комплексно рассмотрены необходимость и обоснование внедрения системы разделения, её основные принципы, нормативные требования, применяемые технологии, а также влияние на функционирование городской инженерной системы.

Ключевые слова: сточные воды, система разделения, повторное использование, многоквартирные жилые дома, инженерные системы.

At present, issues of water conservation in the urban residential sector, environmental safety, and improving the efficiency of communal infrastructure have made the separation of domestic wastewater generated in multi-apartment residential buildings a relevant scientific and practical direction. This paper comprehensively examines the necessity and justification for implementing a separation system, its key principles, regulatory requirements, applied technologies, and its impact on urban engineering systems.

Keywords: wastewater, separation system, reuse, multi-apartment buildings, engineering systems.

Су ресурстарының жетіспеушілігі бүгінде бүкіл әлемде барған сайын өзекті мәселеге айналады. Әсіресе бұл жағдай Орталық Азия елдеріне, соның ішінде Қазақстан Республикасына тән. Су ресурстарының біркелкі бөлінбеуі және трансшекаралық өзендерге тәуелділік салдарынан Қазақстан Республикасы 2030 жылдан кейін су тапшылығына тап болуы мүмкін [1]. Осыған байланысты суды үнемдеуге бағытталған әрбір шешімнің маңызы зор болмақ.

Бүгінгі таңда Қазақстанда судың негізгі тұтынушылары – ауыл шаруашылығы, өнеркәсіп және коммуналдық сектор болып табылады. Соңғы деректер бойынша ауыл шаруашылығы су тұтынудың шамамен 60%-ын алады; өнеркәсіпке тиесілі үлесі шамамен 23-25%, ал тұрғын-коммуналдық (тұрмыстық) сектор шамамен 4% деңгейінде, қалған көлем басқа қажеттіліктерге жұмсалады [2], [4].

Сонымен қатар, суды тұтыну көлемі күн сайын қарқынды өсіп келеді. Тұрғын үй-коммуналдық шаруашылық саласында су құбыры желілеріндегі судың орташа шығыны еліміз бойынша шамамен 25% құрайды.

Жоғарыда аталған барлық факторлар шұғыл шаралар қабылдауды және уақытты талап етеді – ал бізде ең тапшы ресурс уақыт (*1-сурет*).



1-сурет – Тасымалдау кезіндегі жыл сайынғы су шығындары (ашық ақпарат көздерінен алынған).

Қазіргі урбанизация қарқынының үдеуі, халық санының артуы және энергетикалық ресурстардың қымбаттауы қалалық инфрақұрылымға түсер жүктемені күрт күшейтіп отыр. Соның ішінде су ресурстарын басқару саласы ең маңызды және дағдарысқа ұшырау қаупі жоғары бағыттардың бірі болып саналады. Көпқабатты тұрғын үйлерде су тұтыну көлемінің жылдан жылға артуы мен сарқынды сулардың ұлғаюы кәріздік жүйелердің өткізу қабілетін төмендетіп, санитарлық-экологиялық тәуекелдерді көбейтуде. Бұған қоса, орталықтандырылған тазарту станцияларының қуаты кей өңірлерде сарқынды судың шамадан тыс көлемін қабылдауға жеткіліксіз. Сондықтан көппәтерлі тұрғын үйлерге арналған сарқынды суларды бөлу және қайта пайдалану технологияларын енгізу қажеттілігі барған сайын айқын сезіліп келеді.

Қазақстан Республикасының нормативтік құжаттарына жобалау кезінде сарқынды суды бөлу міндетті түрде ескеріліп, санитарлық қауіпсіздік және гидравликалық тиімділікті қамтамасыз ету қажет [3]. Сарқынды суларды бөлу ұғымы тұрмыстық ағындарды екі санатқа жіктейді: ластану деңгейі төмен тұрмыстық ағындар – душ, ванна, раковина, кір жуғыш машина және кондиционер конденсаты сияқты салыстырмалы түрде таза ағындар; толық тазарту шараларын талап ететін санитариялық қауіпті ағындар – унитаздар мен ас үй құбырынан келетін жоғары ластанған ағындар. Бұл жіктеу инженерлік жүйелерді жаңаша қарастыруға мүмкіндік береді. Себебі сұр суды кешенді тазарту арқылы қайта пайдалану көптеген елдерде қолданыла бастаған және өзінің экономикалық әрі экологиялық тиімділігін дәлелдеп келе жатқан технологиялар қатарында. Төмендегі кесте көппәтерлі тұрғын үйдегі сарқынды суларды бөлудің құрылымдық үлгісін көрсетеді (1-кесте):

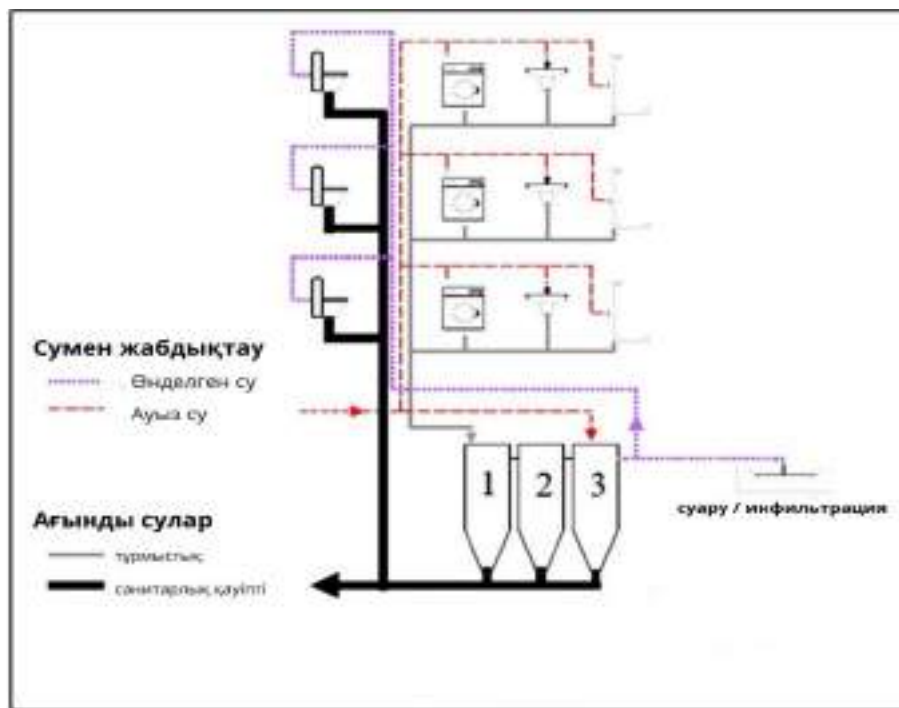
1-кесте – Көппәтерлі тұрғын үйдегі сарқынды суларды бөлудің құрылымдық үлгісі

Сарқынды су түрі	Негізгі көздер	Ластануы	Қауіп деңгейі	Жүйеге әсері	Бөлу ұсынысы
Толық тазарту шараларын талап ететін	Дәретхана, ас үй, тағам қалдықтары	Органикалық, патогендер, майлар, тағам қалдықтары	Жоғары	Кәрізде негізгі жүктеме	Бөлек жинау, толық тазарту
Ластану деңгейі төмен	Душ, ванна, раковина, кір жуғыш машиналар	Жуғыш заттар, майлар, қалқыма бөлшектер	Орташа	Кәрізде көлемдік жүктеме	Бөлек жинау, локалдық тазарту немесе қайта пайдалану

Қазақстан мен Орталық Азия өңірінде су тапшылығы мәселесінің ушығуымен байланысты. Климаттың өзгеруі, су қоймаларының тартылуы, урбанизацияның күшеюі тұщы судың құнын айтарлықтай арттырып, оны тиімді пайдалану қажеттілігін күшейтті. Көппәтерлі үйлер Қазақстанда тұрғын үй қорының басым бөлігін құрайды, сондықтан дәл осы нысандарда жаңа инженерлік жүйелерді енгізу мемлекеттік деңгейде маңызды. Халықаралық тәжірибе көрсеткендей, осы типтегі ғимараттарда ластану деңгейі төмен суды қайта қолдану жалпы су тұтынуды 25-45%-ға дейін төмендетуге мүмкіндік береді. Бұл көрсеткіш сумен қамту инфрақұрылымы шектеулі елдер үшін айрықша құнды [5].

Коммуналдық-тұрмыстық сарқынды суларды бөлудің ғылыми негізін анықтау мақсатында бұл зерттеуде көппәтерлі үй жағдайына бейімделген жүйенің құрылымы, оның гидравликалық, санитарлық, экономикалық және экологиялық параметрлері жан-жақты талданды. Алдымен түрлі елдердің нормативтік-құқықтық актілері, инженерлік стандарттары және заманауи практикасы зерделенді. Мысалы, Германияда сұр суды қайта пайдалану жүйелері 1990 жылдардан бері заңнамамен бекітілген; Жапонияда су

үнемдеу технологиялары жаңа тұрғын үй кешендеріне міндетті талаптар қатарына кіреді; Сингапурда орталық биофилтрациялық жүйелер арқылы қайта өңделген су мемлекеттік аумақтарды суғаруға кеңінен қолданылуда. Бұл елдердің тәжірибесі көп-пәтерлі үй деңгейінде жергілікті тазарту жүйелері орталықтандырылған инфрақұрылымға түсетін жүктемені айтарлықтай азайтатынын дәлелдейді.



2-сурет – Ластану деңгейі төмен тұрмыстық ағындарды қайта өңдеу сұлбасы.

Экономикалық талдау жүйенің қаржылық тиімділігін көрсетті. Орташа есеппен алғанда, көппәтерлі үй тұрғындары жылына 11-17 мың м³ аралығында ауыз суды тек унитаздарды жуу мен гигиеналық қажеттіліктерге жұмсайды. Сұр суды қайта пайдаланған жағдайда осы көлемнің шамамен 70%-ын техникалық сумен алмастыруға болады. Бұл жылына 2,5-3,6 млн теңге көлемінде үнем береді. Жүйені орнату құны тұрғын үйдің көлеміне қарай 10-15 млн теңге аралығында болуы мүмкін, демек өзін-өзі ақтау мерзімі 3-4 жылға тең. Бұл көрсеткіш коммуналдық қызметтер шығындары тұрақсыз болған қазіргі жағдайда өте тиімді.

Экологиялық артықшылықтарын да айқын көруге болады: орталық кәріз жүйесіне түсетін ағындар көлемі 20-35%-ға дейін төмендейді, тазарту станцияларындағы жүктеме азаяды, энергия тұтыну көрсеткіштері қысқарады. Сонымен қатар таза су ресурстарын қорғау бойынша да елеулі пайда байқалады. Бір тұрғынға шаққандағы тәуліктік су үнемі 25-40 литрге дейін жетеді, бұл ірі қала деңгейінде жылына жүздеген миллион литр таза суды сақтау деген сөз.

Жүйені жобалау мен пайдалануда белгілі бір техникалық қиындықтар да туындауы мүмкін. Мысалы, сұр судың сапалық құрамының тұрақсыздығы филтрациялық жүйелердің тез бітелуіне әкелуі мүмкін. Бұл мәселені шешу үшін екі сатылы механикалық сүзгілер, өздігінен тазаланатын тор сүзгілер және вертикалды биофилтрлер оң нәтижесін көрсетті. Сонымен қатар құбырларда иіс қалыптасуын болдырмау үшін желдету арналары дұрыс жобалануы тиіс. Сұр судың температурасы да маусымдық ауыт-

куға ие болуы мүмкін, бұл биологиялық тазарту процесіне әсер етеді. Сондықтан жүйе жылуизоляцияланған және температураны тұрақтандыратын камералармен жабдықта-луы қажет.

Жалпы алғанда, көппәтерлі тұрғын үйлерге сарқынды суларды бөлудің заманауи жүйесін енгізу су ресурстарын үнемдеу, коммуналдық шығындарды азайту, экологи-ялық тұрақтылықты арттыру және инженерлік инфрақұрылымға түсетін жүктемені төмендету үшін аса маңызды. Жүргізілген зерттеу нәтижелері бұл технологияны Қазақ-станның климаттық, техникалық және экономикалық жағдайларында толық қолдануға болатынын дәлелдеді. Болашақта осындай жүйелер сәулет-жоспарлау нормаларына енгізілсе, жаңа тұрғын үй кешендерінде бұл талап міндетті инженерлік стандарт ре-тінде қарастырылса, еліміздің су қауіпсіздігі мен «жасыл құрылыс» бағытындағы даму деңгейі айтарлықтай арта түсер еді. Осылайша, көпқабатты үйлерде сарқынды суларды бөлу технологиясын кеңінен енгізу Қазақстанның қалалық инфрақұрылымын тұрақты дамыту стратегиясымен үйлеседі.

Әдебиеттер:

1. Қазақстанның су ресурстарын басқару мемлекеттік бағдарламасы және «Мемлекеттік бағдар-ламалар тізбесін бекіту туралы»
2. Қазақстан Республикасы Су ресурстары және ирригация министрлігі. Қазақстандағы су ресур-старын пайдалану бойынша статистикалық деректер, 2024–2025 жж.
3. СП РК 4.01-101-2012 Внутренний водопровод и канализация зданий и сооружений
4. Қазақстанның Су ресурстарын басқару жүйесін дамыту – 2024–2030 жылдарға арналған тұжы-рымдама. Мемлекеттік бағдарлама – су тасымалдау желілеріндегі шығынды 50 %-дан 25 %-ға дейін азайту жоспары.
5. Earth.Org. Kazakhstan's Water Crisis, Explained With Data – Қазақстандағы су тапшылығы, су қолжетімділігі, су ресурстарын басқарудағы мәселелер туралы деректер.

УДК 628.16

Югай М.А., гр. М127-7352-24-02, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева
Смагулова Э.М., к.т.н., ассоц. проф., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН НА ОСНОВЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УПРАВЛЕНИЯ

В данной статье рассматриваются методы разработки автоматизированных систем управ-ления водоснабжением, направленные на повышение качества питьевой воды и надежности водоснаб-жения сетей в условиях Республики Казахстан.

Ключевые слова: водоснабжение, автоматизация, качество воды, системы управления, мони-торинг, датчики, Казахстан.

Мақалада Қазақстан Республикасының жағдайында ауыз су сапасын арттыруға және сумен жабдықтау жүйелерінің сенімділігін қамтамасыз етуге бағытталған автоматтандырылған басқару жүйелерін әзірлеу әдістері қарастырылған.

Түйін сөздер: сумен жабдықтау, автоматтандыру, су сапасы, басқару жүйелері, мониторинг, датчиктер, Қазақстан.

This article examines methods for developing automated water supply management systems aimed at improving drinking water quality and reliability of water supply networks in the Republic of Kazakhstan.

Keywords: water supply, automation, water quality, control systems, monitoring, sensors, Kazakhstan.

Обеспечение населения качественной питьевой водой является одной из ключевых задач современной инженерной инфраструктуры, особенно в условиях Республики Казахстан, где наблюдаются значительные региональные различия в доступе к водным ресурсам и состоянии водоснабжения сетей. Ухудшение состояния водных ресурсов, износ сетей и недостаточный уровень автоматизации приводят к снижению качества воды и увеличению эксплуатационных затрат. В этой связи разработка автоматизированных систем управления водоснабжением представляет собой актуальное направление научных исследований.

Современные АСУ позволяют осуществлять непрерывный контроль параметров воды, оперативно реагировать на отклонения и оптимизировать процессы очистки и распределения. Однако существующие решения часто не учитывают комплексный характер процессов и ограничены в возможностях адаптивного управления (рис. 1).



Рисунок 1 – Датчик уровня жидкости.

Если говорить про анализ существующих решений Существующие системы управления водоснабжением базируются на использовании датчиков контроля давления, расхода и качества воды. Наиболее распространены системы диспетчеризации (SCADA), обеспечивающие сбор и визуализацию данных.

Тем не менее, традиционные системы обладают рядом недостатков: ограниченная адаптивность к изменяющимся условиям; недостаточная интеграция данных о качестве воды; отсутствие интеллектуальных механизмов прогнозирования.

В современных исследованиях предлагается использовать методы машинного обучения и интеллектуального анализа данных для повышения эффективности управления [1].

Предлагаемая модель автоматизированной системы Разработанная система включает следующие основные компоненты:

Подсистема сбора данных; Подсистема анализа; Подсистема управления; Интерфейс оператора.

Подсистема сбора данных включает датчики качества воды (рН, мутность, содержание хлора), а также датчики давления и расхода. Данные передаются в центр обработки в режиме реального времени.

Подсистема анализа реализует алгоритмы обработки сигналов и выявления аномалий. В частности, используется метод адаптивной фильтрации и прогнозирования параметров качества воды [2].

Подсистема управления формирует управляющие воздействия на оборудование (насосы, клапаны, станции очистки) с учетом текущего состояния системы и прогнозируемых изменений (рис. 2).



Рисунок 2 – Промышленные насосные установки и оборудование.

Также если говорить про методы и алгоритмы управления. Для повышения качества воды предлагается использовать комбинированный подход, включающий:

- адаптивное регулирование подачи реагентов; прогнозирование загрязнений;
- оптимизацию режимов работы насосных станций.

Алгоритм управления основан на минимизации отклонений показателей качества воды от нормативных значений. В качестве критерия оптимальности используется функционал, учитывающий энергоэффективность и стабильность параметров [3].

Результаты моделирования и практической реализации.

Моделирование системы водораспределительной сети, выполненное с использованием имитационной модели, а также результаты её практической реализации показали снижение колебаний параметров качества воды на 25–30% по сравнению с традиционными методами управления.

Практическая апробация системы на экспериментальном участке, моделирующем условия городских систем водоснабжения Казахстана, подтвердила:

- 1) повышение стабильности давления;
- 2) снижение расхода реагентов;
- 3) улучшение качества воды по основным показателям.

Экономический эффект выражается в снижении эксплуатационных затрат и увеличении срока службы оборудования.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности предложенной системы. Важным преимуществом является возможность масштабирования и интеграции с существующими системами управления.

Ограничением является необходимость значительных первоначальных инвестиций и сложность внедрения в устаревшие инфраструктуры.

В заключение можно сказать, Разработанная автоматизированная система управления водоснабжением обеспечивает существенное улучшение качества воды и повышение надежности работы системы. Использование интеллектуальных алгоритмов позволяет адаптироваться к изменяющимся условиям и снижать эксплуатационные затраты.

Дальнейшие исследования направлены на развитие методов прогнозирования и внедрение элементов искусственного интеллекта для полностью автономного управления (рис. 3).



Рисунок 3 – Внедрение искусственного интеллекта.

Литература:

1. Абдрахманов Б.К. Системы водоснабжения и водоотведения в Казахстане. – Алматы: КазНТУ, 2019.
2. Жумабаев Е.С. Контроль качества питьевой воды. – Караганда: КарГТУ, 2021.
3. Нургалиев А.Н. Автоматизация технологических процессов водоснабжения. – Астана: ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, 2020.
4. Омаров Д.А. Моделирование систем водоснабжения. – Алматы: КазГАСА, 2022.
5. Сапаров К.Т. Управление инженерными системами. – Алматы: Қазақ университеті, 2018.

СТУДЕНТ И НАУКА: ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ

**Сборник материалов
XXVI ежегодной республиканской студенческой научной конференции**

ЧАСТЬ II

Компьютерная верстка и подготовка оригинал-макета в печать
Ибрашевой М.А.

Редактор **Есимханова А.Е.**

Ответственность за достоверность информации несут авторы.

Формат 60х84 1/16. Бумага офсетная.
Усл. печ.л. 18,81. Уч.-изд.л. 19,00.
Заказ №1045.



Издание ТОО «Международная образовательная корпорация»
Отпечатано в Издательстве «Строительство и архитектура»
050043, г. Алматы, ул. Рыскулбекова, 28