

Министерство образования и науки Украины
Национальная академия природоохранного и курортного строительства

СТРОИТЕЛЬСТВО И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Сборник научных трудов

Выпуск 49

БУДІВНИЦТВО ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

Збірник наукових праць
Випуск 49

Зарегистрирован 21.11.2005 г. серия КВ № 10650 Государственным комитетом информационной политики, телевидения и радиовещания Украины.

Постановлением президиума ВАК Украины от 08.07.2009 г. №1-05/2 включен в перечень научных специализированных изданий Украины, в которых могут публиковаться основные результаты диссертационных работ на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук (области наук: архитектура, технические науки).

Симферополь
«Национальная академия природоохранного
и курортного строительства»
2014

Збірник наукових праць
«Будівництво та техногенна безпека»

Збірник включає статті науковців України, у яких висвітлені результати фундаментальних та прикладних наукових досліджень у галузі будівництва та техногенної безпеки.
Для наукових працівників, аспірантів та спеціалістів у галузі будівництва та архітектури.

Редакційна колегія:

Ажермачов Г.А., канд. техн. наук, Бекіров Е.А., докт. техн. наук, Боровський Б.І., докт. техн. наук, Бугаєвський Г.М., докт. фіз.-мат. наук, Ветрова Н.М., докт. техн. наук, Дворецкий О.Т., докт. техн. наук, Зайцев О.М., докт. техн. наук, Захаров Р.Ю., канд. техн. наук (відповідальний секретар), Лінченко Ю.П., канд. техн. наук, Любомирський М.В., канд. техн. наук, (заст. головного редактора), Морозов О.Д., канд. техн. наук, Нагаєва З.С., докт. архітектури, Ніколенко І.В., докт. техн. наук, Пашенцев О.І., докт. екон. наук, Саломатін В.М., докт. геол.-мін. наук, Сапронова З.Д., канд. геол.-мін. наук, Сіроджа І.Б., докт. техн. наук, Стоянов В.У., докт. техн. наук, Чемодуров В.Т., докт. техн. наук, Федоркін С.І., докт. техн. наук, (головний редактор), Шаленний В.Т., докт. техн. наук, (заст. головного редактора), Ячменьова В.М., докт. екон. наук

Затверджено до друку згідно протоколу засідання вченої ради НАПКБ № 6 від 27.02.2014 р.

Адреса редакції: 95006 м. Сімферополь, вул. Павленко, 5, НАПКБ, корпус 2, к. 410,
E-Mail: rio@napks.edu.ua

© **Національна академія
природоохоронного та
курортного будівництва,
2014**

Сборник научных трудов
«Строительство и техногенная безопасность»

Сборник включает статьи ученых Украины, в которых освещены результаты фундаментальных и прикладных научных исследований в области строительства и техногенной безопасности.
Для научных работников, аспирантов и специалистов в области строительства и архитектуры.

Редакционная коллегия:

Ажермачёв Г.А., канд. техн. наук, Бекиров Э.А., докт. техн. наук, Боровский Б.И., докт. техн. наук, Бугаевский Г.Н., докт. физ.-мат. наук, Ветрова Н.М., докт. техн. наук, Дворецкий А.Т., докт. техн. наук, Зайцев О.Н., докт. техн. наук, Захаров Р.Ю., канд. техн. наук (ответственный секретарь), Линченко Ю.П., канд. техн. наук, Любомирский Н.В., канд. техн. наук (зам. главного редактора), Морозов А.Д., канд. техн. наук, Нагаева З.С., докт. архитектуры, Николенко И.В., докт. техн. наук, Пашенцев А.И., докт. экон. наук Саломатин В.Н., докт. геол.-мин. наук, Сапронова З.Д., канд. геол.-мин. наук, Сироджа И.Б., докт. техн. наук, Стоянов В.У., докт. техн. наук, Чемодуров В.Т., докт. техн. наук, Федоркин С.И., докт. техн. наук, (главный редактор), Шаленный В.Т., докт. техн. наук, (зам. главного редактора), Ячменева В.М., докт. экон. наук

Утвержден к печати согласно протокола заседания ученого совета НАПКБ № 6 от 27.02.2014 г.

Адрес редакции: 95006 г. Сімферополь, ул. Павленко, 5, НАПКБ, корпус 2, к. 410,
E-mail: rio@napks.edu.ua

© **Национальная академия
природоохоронного и
курортного строительства,
2014**

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1.

АРХИТЕКТУРА

- Пчельников В.Н., Дзюба А.В. Актуальность реорганизации деградировавших территорий 5

РАЗДЕЛ 2.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

- Иванова А.П., Чумак А.Н. Оптимальное проектирование стропильной металлической фермы с учётом возможных повреждений ее отдельных элементов 12
- Линченко Ю.П. Системный анализ в автоматизированном проектировании конструкций 17
- Линченко Ю.П., Васильев М.В., Белавский В.А. К вопросу расчета опор контактной троллейбусной сети при размещении на них рекламных конструкций 23
- Тарабара И.Ю., Чемодуров В.Т. Изгибно-крутильные колебания плоской пластины в потоке воздуха 27

РАЗДЕЛ 3.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

- Любомирский Н.В., Бахтин А.С., Бахтина Т.А., Джелал А.Э. Методологические основы определения деформативных характеристик прессованных дисперсных систем на основе известняков 32
- Любомирский Н.В., Сироджа И.Б. Влияние температуры на скорость принудительной карбонизации известкового камня полусухого прессования 40
- Свищ И.С., Носатова Е.В. Влияние вида карбонатных отходов на прочность шлакощелочного бетона на основе жидкого стекла с силикатным модулем 1,5...1,7 после ТВО 49
- Свищ И.С., Носатова Е.В. Исследование влияния карбонатных отходов и цеолитов на сроки схватывания, прочность и качество ШЩВ на основе жидкого стекла с силикатным модулем $M_c=1,5-1,7$ 52

РАЗДЕЛ 4.

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, МЕХАНИКА И СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ

- Абдурахманов А. З. Эффективность использования энергопоглотителя кольцевого типа в стальных каркасах 58
- Дьяков И.М. Исследования живучести системы «свайное удерживающее сооружение-грунт» при механических повреждениях основания перед сваями 63
- Ефремов А.В. Механизм поведения оползня перед и в момент потери устойчивости равновесного режима 70
- Кузьмина Ю.С., Чемодуров В.Т. Оценка прочности и устойчивости цилиндрических баков с жидким наполнителем 76

РАЗДЕЛ 5.

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО И ГРАЖДАНСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

- Шаленный В.Т., Покотило Д.С. Расширение технологических возможностей алмазного оборудования для резки конструкций путем его монтажа на средствах подмащивания 84
- Скокова А. О. Оцінка витрат на виконання робіт із оцінки технічного стану фасадної теплоізоляції цивільних будинків 88

Шаленний В. Т., Капшук О. А. Результати обчислювального експерименту із варіантного проектування технології і організації зведення багатопверхових каркасних будівель у розбірно-переставних опалубках різних виробників	95
--	----

РАЗДЕЛ 6.

ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Булгару М. А., Киримов Б. Э., Исаенко О. В. История и эколого-технические особенности оборудования карстовых пещер Крыма для туристических целей	103
Иваненко Т.А., Ветрова Н.М. Технические решения берегозащитных сооружений для улучшения экологического состояния прибрежных рекреационных зон	108
Чемодуров В.Т., Пшеничная-Ажермачёва К.С. Мониторинг окружающей среды при разработке морских месторождений углеводородов	116
Шаленный В.Т., Ковалев А.А., Попов А.Г., Чёрная М.Л., Кислица Л.В. Оценка опасных и вредных производственных факторов при возведении металлических силосов методом подрачивания с применением шевров	120

РАЗДЕЛ 7.

ВОДООБЕСПЕЧЕНИЕ И ВОДООТВЕДЕНИЕ, ГИДРОМЕЛИОРАЦИЯ, ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ И ЭНЕРГЕТИКА

Алиева З.Б., Бекиров Э.А. Разработка и построение меридиальной аналеммы для г.Симферополь	129
Атрощенко С.Ю. Аэродинамические исследования конвективного потока при его взаимодействии с потоком закрученного газа	135
Калафатов Н., Асанов М. М., Бекиров Э. А. Экспериментальное исследование по определению теплопроизводительности воздушных гелиоколлекторов	141
Богатикова Н.В., Зайцев О.Н. Энергосберегающие технологии при сжигании газа в горелках с предварительным смешением	145
Боровский Б.И., Зорин А.М. Использование высокого давления в полиэтиленовом газопроводе населённого пункта в сельской местности	149
Боровский Б.И., Поднебесный С.В. Технично-экономическое сравнение использования традиционных энергоносителей для отопления в домашних котлах	153
Воскресенская С.Н. , Аблязов К.Р. Определение шумового воздействия для ветроэлектростанции	159
Дихтярь Т.В. Определение состава газа от различных промышленных и бытовых объектов	165
Климчук О.А., Омеко Р.В., Роговенко О.А. Використання теплоти фазового перетворення для сезонного аккумулявання у геліосистемах	170
Желих В.М., Лесик Х.Р., Кудь О. І. Оцінка сумарного коефіцієнта тепловтрат термосифонного сонячного колектора	174
Салиев Э. И. Надежность функционирования систем водоснабжения и водоотведения	179
Хван В.С. Цилиндрический теплообменник	184
Шайхед О. Экономическая эффективность при сжигании высокозольного топлива в кипящем слое	188
Аннотации на украинском языке	192

РАЗДЕЛ 1. АРХИТЕКТУРА

УДК 69.001.5; 69.001.6

АКТУАЛЬНОСТЬ РЕОРГАНИЗАЦИИ ДЕГРАДИРУЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ

Пчельников В.Н. доцент, А.В. Дзюба, студентка гр. ГС-631

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

В данной статье рассмотрены проблемы, возникающие из-за обилия ранее освоенных, а на сегодняшний день деградирующих территорий, зданий, сооружений. Предложены пути их возможного повторного использования. Проанализированы схожие проблемы и пути их решения за рубежом, использование в процессе реорганизации различных методов. Выявлена и обоснована актуальность, а также необходимость внедрять в отечественную архитектуру тему реорганизации.

Реорганизация, повторное использование, деградирующая территория, архитектура, строительство.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие большинства крупных современных промышленных городов оказывается связанным с проблемой преобразования территорий крупных, в основном, промышленных комплексов. Это обусловлено тем, что часть комплексов перестали выполнять прямую задачу, а в ряде случаев вообще оказываются остановленными [1].

Сегодня тенденции развития таковы, что промышленные предприятия выносятся за пределы центра, или даже города. Целесообразность реорганизации данных объектов, внедрение новых, актуальных функций необходимых тем или иным районам города обуславливает экономическое, социальное, культурное, психологическое и эстетическое развитие районов.

Основным потенциалом крупного города являются наукоемкое и инновационное производство. Пальму первенства смысловых доминант города занимают административно-деловые центры. Современная застройка городов подавляет ранее доминирующую промышленную территорию. Из-за спектра проблем многие промышленные объекты прекращают свое существование, как следствие превращаются в депрессивную застройку, являясь изолированными от социальной среды города [2].

В данной работе представлен мировой опыт по решению проблемы деградирующих территорий, проведен анализ возможностей урбанизации неиспользуемых сооружений, приведение их в состояние, пригодное для отдыха и проживания людей.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В последнее десятилетие у всех на слуху амбициозные проекты реорганизации, реконструкции, ревитализации территорий, зданий, сооружений и целых комплексов, не используемых по назначению по тем или иным причинам. Ведущие мировые архитекторы, такие как Норман Фостер, Фрэнк Гери, а также мастерские: ASP SCHWEGER ASSOZIIERTE, Coop Himmelb(l)au, Manfred Wehdorn, Wilhelm Holzbauer и Jean Nouvel заняты созданием и воплощением проектов, которые дадут вторую жизнь тем элементам города, которые отжили свою функциональную необходимость.

В разработке статьи использовался материал, собранный в интернет – источниках.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

Целью исследования является обоснование актуальности реорганизации деградирующих территорий. Изучение ранее выполненных, обоснованных предложений по урбанизации деградирующих объектов, перепрофилирование их под жилую или развлекательную функцию. Выявление на этой базе основных преимуществ.

Задача: проанализировать отечественные и зарубежные аналоги решения поставленной проблемы, определить преимущества реорганизованных объектов

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Методикой исследования в данной работе является анализ мирового опыта, систематизация полученных данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

В структуре развивающегося современного города в последние годы проблема урбанизации и реорганизации промышленных территорий является особенно актуальной.

Целесообразность внедрения альтернативных функций обуславливают социальные, экономические, психологические, исторические и эстетические факторы. Многие промышленные предприятия переносятся из центра города на его окраины, в область. При отказе от промышленного использования территории предусматривается снижение негативного воздействия на экологию [3].

В свете роста цен и спроса на землю как таковую и участки в курортных зонах в частности, большие участки с замороженным, либо брошенным строительством являются нерентабельными, а, зачастую, и опасными, т.к. охранные меры принимаются, но в недостаточной мере, потому «двери» открыты для каждого.

Здания и сооружения, на которых может остановиться взгляд застройщика, бывают двух типов. Первый тип - объект, строительство на котором завершено не было, так называемое, "замороженное" строительство. Как правило, это постройки 90-ых гг. XX века. Второй тип - здания, вышедшие из эксплуатации. Самое простое решение проблемы – снос полуразрушившихся или недостроенных зданий.

Но при таком методе значительно увеличиваются затраты на снос объектов, на расчистку территории. В некоторых случаях здания и сооружения являются архитектурными памятниками и охраняются государством.

Работы по реконструкции зданий и сооружений отличаются повышенной по сравнению с новым строительством трудоемкостью на 25...30%. При этом возникает необходимость корректировки нормирования труда.

С другой стороны, общие затраты времени на реконструкцию в 1,5...2 раза меньше, чем на новое строительство. Это способствует быстрейшему вводу производственных мощностей, жилых и общественных зданий, ускорению решения экономических, социально-бытовых и градостроительных задач. Освоение заброшенных промышленных объектов может стать очень привлекательным – в них могут появиться офисные здания или нестандартные жилые дома. [4]

Обилие деградирующих объектов, их востребованность в современном мире, тяга человека к оригинальности жилья и мест отдыха – все это обуславливает актуальность выбранной темы не только сегодня, но и на протяжении, как минимум, десяти – двадцати лет.

В качестве зарубежных аналогов реорганизации и реконструкции общественного пространства можно рассмотреть комплекс газгольдеров в Вене.

Газгольдеры были построены в Вене между 1896 и 1899 годами. Изначально эти громоздкие здания (62 м внутренний диаметр и 72 м высотой) служили резервуарами для газа, но в 1970 они стали не востребованы и всё техническое оборудование было удалено. Осталась кирпичная оболочка и 90000 кубометров внутреннего пространства, охраняемые как памятники архитектуры.

В 1995 году было принято решение о преобразовании функции существующих газгольдеров в жилье и торгово-деловые помещения. После проведенного конкурса определились 4 архитектурных мастерских, каждая из которых взяла для работы одно из 4-х зданий: Coop-Himmelb(l)au, Manfred Wehdorn, Wilhelm Holzbauer и Jean Nouvel.

Все архитекторы подошли к преобразованию зданий по-разному.

Газгольдер «В» был поручен мастерской Coop Himmelbau. Если все остальные архитекторы формировали только внутренние объемы, то Вульф Прикс предложил

дополнить 3 новых формы, причем одну из них — снаружи, тем самым показывая современную архитектуру тем, кто не попадает внутрь комплекса. Внутри здания — цилиндрический объем с офисами, снаружи — ломаная плоская форма-экран, также с офисными помещениями, а на 1-м этаже располагается многофункциональный зал для общественных мероприятий, магазины и развлечения.

В проекте Ведорн Архитектс внутри газгольдера пространство разделено на 8 секторов, каждый из которых по высоте делится на функциональные зоны: жилье, офисы, торговля, паркинг (сверху вниз). Двор над гаражом перекрыт большим стеклянным куполом, образуя рекреационную общественную зону (Рис. 1).

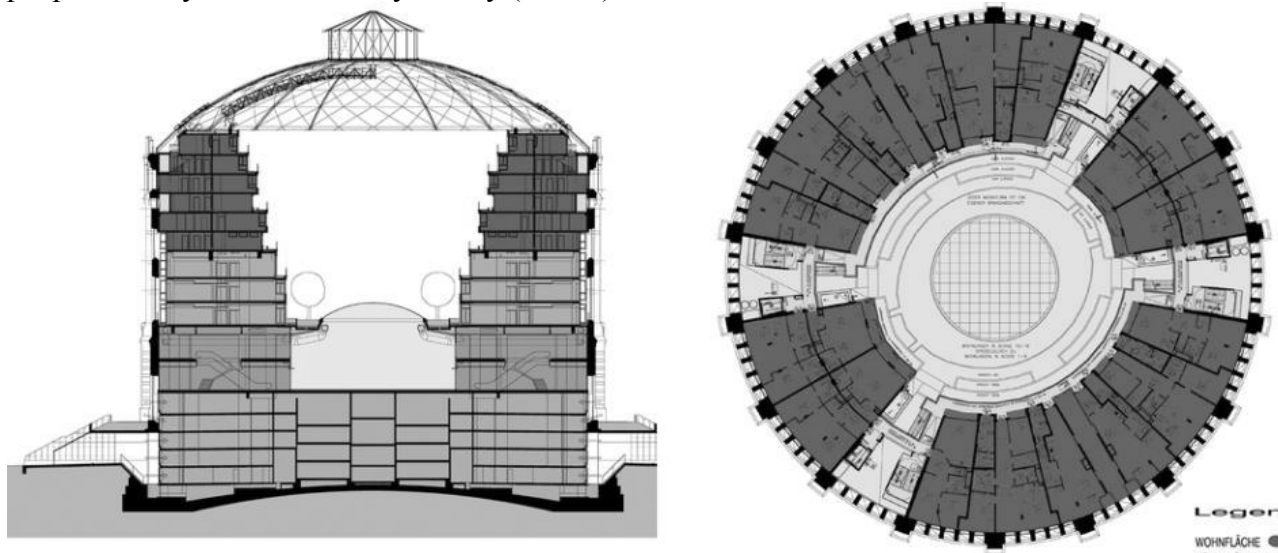


Рис. 1 Функциональное зонирование одного из газгольдеров

Wilhelm Holzbauer подошел к проектированию начинки 4-го газгольдера иным образом. В его проекте нет общего внутреннего пространства. Напротив, внутри на всю высоту поднимается цилиндрический объем жилого здания. От него тремя лопастями отходят корпуса, деля таким образом весь внутренний объем на 3 двора.

Помимо 4-х основных зданий комплекс включает в себя множество других построек различной инфраструктуры. Сюда включены развлекательный центр, построенный Rüdiger Lainer, и торговый мол-галерея, соединяющий газгольдеры. Большое развитие комплекс получил и под землей.

Эти здания были своего рода кульминацией промзоны. Абсолютно замкнутая, самодостаточная структура, возвышающаяся над складами и пустырями. После реконструкции они остались кульминацией всего района. Только теперь это не заброшенные скелеты, а привлекательные фешенебельные офисы, квартиры и магазины. На мой взгляд, это один из самых удачных мировых примеров реконструкции и реорганизации промышленного объекта такого масштаба [5].

Следующим рассмотрим еще не осуществленный проект сэра Нормана Фостера, его предложение по реновации территорий острова Новая Голландия.

Новая Голландия будет представлять собой треугольной формы остров в Санкт-Петербурге на собственных опорах с разнообразными культурными учреждениями, размещенными на площади в 7,6 гектаров. Проект включает помещение театра, залы для проведения конференций, галереи, гостиницу, магазины, квартиры и рестораны с подвижной ареной в самом центре.

Замечательные исторические постройки, первоначально предназначенные для хранения лесоматериалов, будут переделаны в гостиницы и места для розничной торговли, которые будут перемежаться целым рядом помещений для исполнительских и визуальных видов искусства. Целый комплекс деловых зданий, размещенный по периметру «треугольника», сделает остров центром деловой активности, а не только развлекательным центром (Рис. 2).

Следуя контурам существующего портового бассейна, арену под открытым небом будут окружать театр, бутики и рестораны с видами на воду. Она предназначена главным образом для представлений под открытым небом, при необходимости может заполняться водой (для проведения регат), а также заливаться льдом для использования в качестве катка. Проект также обеспечивает инфраструктуру для соединения с городом. Будут построены новые мосты и дороги.

Фостер с особой тщательностью продумывает каждую деталь нового комплекса. Внимание уделяется и цвету крыш, и сохранению тополей и другой растительности, которую предлагал убрать даже петербургский общественный совет, и даже композиции световых фонарей в крышах, из-за нежелательного света которых остров в ночное время может изменить свой привычный черный силуэт [5].



Рис. 2 Проект реконструкции Новой Голландии

Одним из удачных, на мой взгляд, объектов реконструкции промышленного объекта, выполненного нашими архитекторами, является музей воды на территории предприятия «Водоканал».

Реконструкция здания водонапорной башни — это первый в Санкт-Петербурге опыт возрождения старых промышленных зданий, утративших свое бывшее назначение. Этот проект — эксперимент по смешению стилей XIX и XXI века. Основная задача состояла в восстановлении, очищении от позднейших «наслоений» и приспособлении к новым функциям внутренних пространств башни. Сохранение целостности интерьеров — красивых залов с арочными перекрытиями.

«А вот способ, которым мы эту «консервацию» обеспечили, принадлежит совсем другой архитектурной стратегии. Это скорее знак, функциональная скульптура. Не просто сильная форма — форма осмысленная. Архитектурная сущность любой башни — стремление вверх, и стеклянная вертикаль лестницы открывает это движение, обычно скрытое от глаз зрителя. (Рис. 3) Кирпичное здание как бы дублируется, утрачивая при этом свою материальность» — говорит Евгений Подгорнов, руководитель мастерской «Интерколумниум».

Красно-кирпичный восьмигранник водонапорной башни, спроектированной архитекторами Мерце и Шуберским в 1860—1863 годах, связан с водой лишь функционально: монолитный объем отрицает всякую текучесть. Архитекторам студии «Интерколумниум», реконструирующим башню, удалось решить не только вопросы содержательные — размещение в Башне музея «Мир воды», но и образные. Требования к сохранению исторических интерьеров Башни обусловили вынос лифта и лестницы в отдельную пристройку. Именно она стала основным акцентом реконструкции. В ее формах и

материале можно прочесть образ воды. Вместе с башней была удачно преобразована и территория вокруг музея. Разбит сквер, устроен фонтан, поставлены скульптуры [5].

Проанализировав вышеописанные примеры, можно сделать вывод, что заброшенные промышленные здания имеют ряд преимуществ для дальнейшего использования:

Экономические.

Промышленные здания, как материальный объект, уже существуют и имеют такое конструктивное долголетие, которое позволит их использовать 50, 100 и более лет. Реконструкция потребует капиталовложений, но меньших, чем разборка и строительство нового здания. Уже есть удобные транспортные связи, так как промышленное производство требовало подвоза материалов и вывоза продукции, большое количество рабочих должно было ежедневно прибывать на производство. Уже существуют инженерные коммуникации, причем многие из них даже превосходят необходимые для жилья. За промышленными объектами закреплены территории, иногда такие большие, что могут вмещать и дополнительное строительство [6].

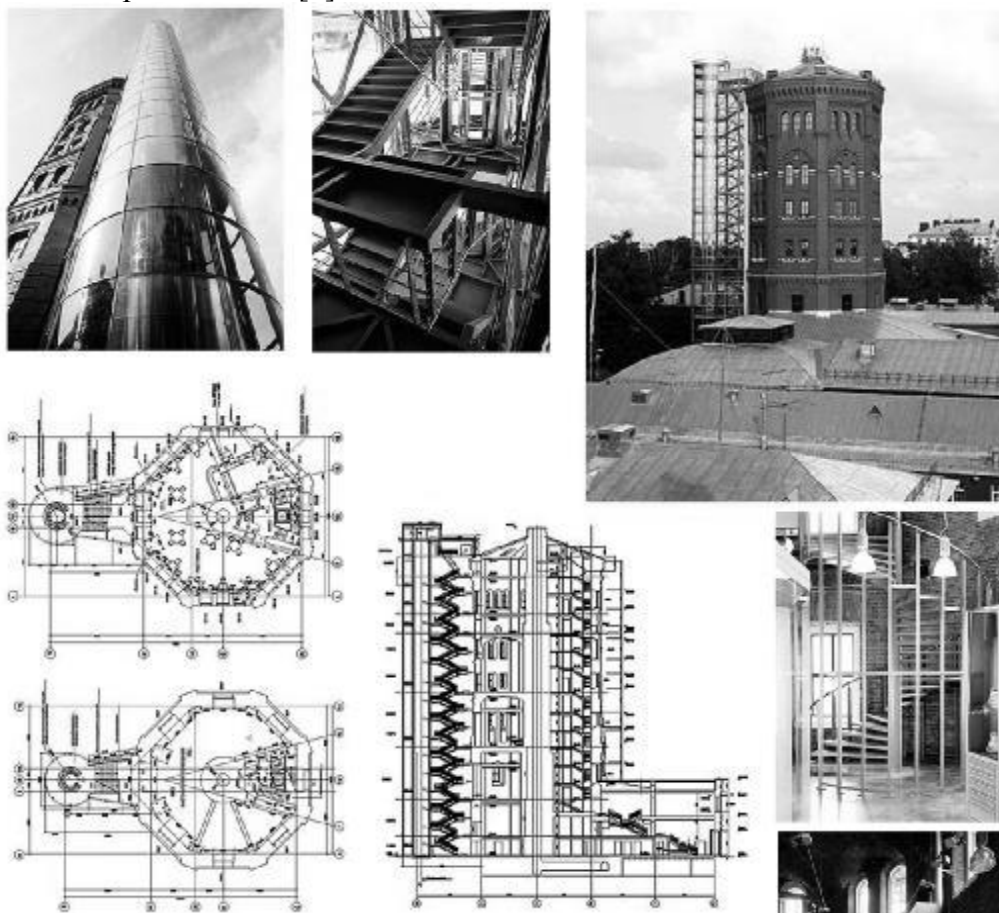


Рис.3. Музей воды в Санкт-Петербурге

Конструктивные:

Количество и качество преимуществ, принадлежащих конструктивным особенностям промышленных зданий, очень большое.

Большие пролёты и, следовательно, большие пространства между несущими конструкциями дают свободу для разнообразных планировок. Можно разделить этаж на зоны-лофты и каждый житель может распланировать свой дом по-своему, а значит реализовать свою потребность в обитании и самоидентификации.

Большая глубина корпуса очень выгодна с экономической точки зрения, так как чем глубина больше, тем меньше теплопотери, тем экономичнее наше здание и меньше энергопотребление. Большая глубина корпуса дает возможность увеличить глубину «светлых» комнат и зону «тёмных помещений». А при очень большой глубине корпуса

можно использовать световые колодцы или размещать общественные функции, не требующие света.

Перекрытия (конструкции), рассчитанные на большие нагрузки делают возможным размещение тяжелого оборудования, которое появляется в современном жилье. Это мини-бассейны, тяжёлые силовые тренажёры, требующие ещё и устройства плавающего пола для погашения динамических нагрузок, так же как и внутриквартирные лифты, являющиеся дорогим, но бесспорным удобством в многоуровневых квартирах, сейфы и т.п.

Рассчитанные на большие нагрузки конструкции позволяют устанавливать раздвижные перегородки и на верхней подвеске, и на рельсах. Эти перегородки могут быть тяжёлыми, даже бетонными, что уже применяется в жилье. Возрастает мобильность планировки жилой единицы.

Высокие этажи также дают большую свободу для фантазий архитектора и жителей, так как позволяют моделировать многоуровневые и многосветные пространства. Большая высота этажа позволяет развести большой пакет коммуникаций и в полу, и в потолке. Так, перемещение сантехоборудования требует повышения уровня пола для сохранения правильного уклона канализации. А размещение кондиционирования с подмесом свежего воздуха занимает большую высоту в потолке разводкой воздуховодов. Подвесной потолок, закрывающий коммуникации, может быть многоуровневым и сложным в световом решении, что увеличивает его эстетический потенциал.

У некоторых промышленных зданий, особенно конца XIX – начала XX века, бывают толстые кирпичные стены. Толстые стены обладают высокой теплоизоляцией, и, следовательно, уменьшают теплопотери и способствуют экономии энергии, т.е. экономичности и экологичности здания. Кроме этого, высокая декоративность старой кирпичной кладки, как в экстерьере, так и в интерьере даже слишком часто используется архитекторами и декораторами. Очищенные от штукатурки стены стали визитной карточкой конверсии. [6]

Эстетические преимущества промышленных зданий:

Индивидуальность. Промышленные здания проектировались чаще всего по индивидуальным проектам, так как должны были вмещать конкретную и требовательную во многих отношениях функцию. Индивидуальность повышает ценность здания как материальную (стоимость квадратного метра) так и моральную – как возможность самодентификации индивида-жителя.

Историчность. Промышленные здания, оказавшиеся в центрах городов, так как города разрастаются, построены в XIX и XX веке (теперь уже прошлом). Многие из них если не памятники архитектуры, то яркие представители эклектики, модерна, конструктивизма, рационализма и т.д. Их необходимо сохранять как среду города и как историческое наследие. Чтобы здание сохранялось, оно должно использоваться, обладать функцией. Не обязательно все они должны становиться музеями и выставками. Некоторые могут с успехом быть жильём. Даже неисторическое здание, проходя через конверсию, приобретает новое историческое наложение и становится ценным для городской среды.

Аскетичность промышленной архитектуры, строгость, нет ничего лишнего, суетного. Только гармония функции и формы, пропорционированность фасадов и внутренних пространств, гармония здания и контекста, окружающей среды и времени. Отсутствие лишних декоративных элементов делало необходимым внимательное отношение к пропорциям, соотношениям фасада, окон, простенков, членений. К. Мельников так говорил на своей лекции: «Сама по себе украшательская деятельность есть великое искусство, трудное, требующее больших дарований, но в промстройстве унизительная роль». Аскетичность, простота промышленной архитектуры очень востребована, все удачные конверсии только сохраняют архитектуру зданий, выявляют и предьявляют их красоту, не нагружают деталями, сложными дополнениями – они не нужны. Отсутствие суеты в промышленной архитектуре – хорошая основа для отсутствия суеты в жилье, для создания

Жилища – «бытия-в-покое». Аскетичность сейчас, в эпоху потребления, воспринимается как синоним благодетства.

Эстетичность. Промышленная эстетика как самоценность. Если строительство – поэзия, то нет сомнения, что и среди промзданий есть настоящие шедевры, здания, которые поют.

Внимание архитекторов к промышленной архитектуре дало множество интереснейших объектов, историческую, средовую, поэтическую значимость которых трудно переоценить. [6]

Психологическое воздействие, оказываемое промышленными зданиями:

Ощущение стабильности прошлого индустриального века, выраженное в простоте, фундаментальности, статичности, не суетности промышленных зданий по сравнению с современной цифровой, динамичной, суетной архитектурой. Стабильность, статичность гораздо более подходят к созданию Жилья, как реализации бытия в покое.

Ощущение надёжности. Надёжность промышленных зданий ощущается даже визуально. Это повышает их ценность для конверсии под жильё, так как психологически даёт надежду на защищённость от страхов современного времени, таких как терроризм, стихийных бедствий и катастроф. [6]

ВЫВОДЫ

На примерах из отечественной и зарубежной практик архитектурного проектирования и градостроительства мы рассмотрели различные варианты и методики внедрения новой архитектуры в существующую историческую промышленную застройку. Различных подходов довольно много, и многие из них удачны и оправданы.

Политика реорганизации объектов, которые не являются актуальными по функциональному назначению, но являются уникальными памятниками промышленной, гражданской архитектуры позволяет из физическое сохранение. При переосмыслении здания, с точки зрения привнесения новой функции, приведет к притоку средств, инвесторов, арендаторов, что даст возможность воссоздания и поддержания первоначального облика здания.

Опыт зарубежных мастерских, а так же удавшиеся проекты наших архитекторов, очень важен. Заброшенных промышленных зданий в стране существует немало. Новая архитектура — всегда компромисс, поэтому широко применяемая на западе практика соединения языка классики с языком новейшей архитектуры рассматривается как радикальный жест. Поэтому, чтобы воплотиться, он должен быть глубоко осмыслен и мотивирован.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сафонова Д. Е. Экореконструкция заброшенных промышленных зон в процессе рефункционализации [Электронный ресурс] – URL: http://archvuz.ru/2012_22/43
2. kate. Реновация промышленных объектов и территорий. [Электронный ресурс] – URL: <http://ik-architects.com/renovaciya-promyshlennykh-obektov-i-territorij>
3. Подоксёнова Е. М. К проблеме сохранения исторического наследия в процессе рефункционализации предприятия (на примере Полевского машиностроительного завода) (Тезисы) [Электронный ресурс] – URL: http://archvuz.ru/2006_22/42
4. Зверева А.Ф. Редевелопмент промышленных территорий. [Электронный ресурс] – URL: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2013/thesis/s009/s009-013.pdf>
5. Андреев М. Реновация промышленных территорий и объектов. [Электронный ресурс] – URL: <http://arch-grafika.ru>
6. Глотова С.Б.. К вопросу о способности конверсируемых промышленных объектов соответствовать критериям современной жилой архитектуры. [Электронный ресурс] – URL: <http://www.marhi.ru/AMIT/2010/3kvart10/glотова/glотова.pdf>

РАЗДЕЛ 2.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

УДК624:620.19:622.791

ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТРОПИЛЬНОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ФЕРМЫ С УЧЁТОМ ВОЗМОЖНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЕЕ ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Иванова А.П. , Чумак А.Н.

*Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет»,
г. Днепропетровск*

Рассмотрена задача оптимального проектирования стропильной стальной фермы в программном комплексе Autodesk Robot Structural Analysis. Учтено влияние эксплуатационных нагрузок на конструкцию с повреждениями отдельных элементов. Получен оптимальный проект учитывающий, как экономию металла, так и удобство монтажа.

Стальная ферма, оптимизация, моделирование, напряжение, коррозионные повреждения, площадь сечения, стержневые элементы

ВВЕДЕНИЕ

Несущие строительные конструкции зданий и сооружений в отличие от промышленного оборудования почти не подвергаются моральному износу. Поэтому вопросы их оптимального проектирования, надёжности и долговечности являются актуальными.

Задачи оптимизации стержневых систем делятся на две большие группы [1,2,3]. К первой относятся задачи оптимизации внешних воздействий на систему. В качестве примеров могут быть названы задачи поиска оптимального статического или динамического нагружения системы. Вторая группа включает в себя задачи оптимизации параметров систем. В таких задачах осуществляется управление основными характеристиками системы, например, распределением массы, жёсткости, площади поперечных сечений.

Значительное развитие теории оптимального проектирования стержневых конструкций связано с совершенствованием вычислительной техники. Применительно к расчёту конструкций наиболее эффективным и удобным вычислительным методом является метод конечных элементов (МКЭ). Этот метод соединил в себе преимущества метода конечных разностей и вариационных методов, исключив одновременно их недостатки.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Анализ работ по оптимальному проектированию стержневых конструкций [4,5] показывает, что к настоящему времени сформировались следующие постановки задач оптимизации стержневых конструкций:

- минимизация массы конструкции с фиксированной геометрией решётки или срединной поверхности (распределение масс по элементам заданной осевой схемы или вдоль срединной поверхности заданных очертаний);
- оптимизация формы и упругих свойств материала конструкции;
- поиск оптимального распределения внешних нагрузок.

В настоящее время теория оптимального проектирования является одним из важных и развивающихся разделов в механике деформируемого твёрдого тела, на котором базируются проектные расчёты строительных конструкций [6,7,8].

Цель и постановка задач, методика исследований

Целью статьи является исследование влияния эксплуатационных нагрузок на надёжность стропильной стальной фермы с уже накопившимися повреждениями.

Одним из определяющих показателей качества оптимальных конструктивных систем крупноразмерных многоэлементных металлических стержневых конструкций остаётся минимум массы.

Моделирование заключается в следовании направлениям потоков основных напряжений, возникающих в элементах конструкции от действия заданных нагрузок и последующем перераспределении материала таким образом, чтобы сконцентрировать его в направлениях и областях действия наибольших напряжений и, наоборот, ослабить малонапряженные участки.

В данной работе для математического моделирования был использован расчётный комплекс Robot Structural Analysis, реализующий процедуру МКЭ и ориентированный на строительные конструкции. Этот комплекс имеет развитый модуль, позволяющий рассматривать отказы несущих элементов в динамической постановке с учётом геометрических и физических нелинейностей.

Задача весовой оптимизации (1) стропильной фермы формулируется, как сменная оптимизационная задача, то есть варьируются как параметры элементов фермы, так и координаты некоторых ее узлов. Несущая способность конструкции в течении заданного срока эксплуатации обеспечивается ограничениями по прочности (2) и устойчивости (3) элементов фермы, а также ограничениями по жёсткости (4) и конструктивными ограничениями (5).

Постановка задачи весовой оптимизации:

$$F = F_i(\bar{x}) \rightarrow \min \quad (1)$$

$$g_1 = [\sigma] - \sigma_i(\bar{x}) \geq 0, \quad i = 1, N \quad (2)$$

$$g_2 = \sigma_j^*(\bar{x}) - \sigma_j(\bar{x}) \geq 0, \quad j \in J \quad (3)$$

$$g_3 = [f] - f_k(\bar{x}) \geq 0, \quad k \in K \quad (4)$$

$$g_4 = (x_m^+ - x_m)(x_m - x_m^-) \geq 0, \quad m = 1, M, \quad (5)$$

где \bar{x} - вектор варьируемых параметров, $F_i(\bar{x})$ - площадь сечения i - го элемента, $[\sigma]$ - предельно допустимое значение напряжения, $\sigma(\bar{x})$ - текущее напряжение в i - ом конечном элементе, $\sigma^*(\bar{x})$ - критические напряжения потери устойчивости (для сжатых элементов), $[f]$ - предельное значение прогиба, $f_k(\bar{x})$ - текущее значение перемещения, N - количество конечных элементов в модели, J - количество элементов, в которых возможна потеря устойчивости, K - количество узлов, в которых проверяется условие жёсткости, M - количество варьируемых параметров.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

В качестве объекта исследования принята металлическая 47-ми элементная ферма, аналогом которой является стропильная ферма прокатного цеха Днепропетровского трубопрокатного завода (рис.1). Ферма имеет следующие параметры: максимально допустимый прогиб $[f]=2,5$ см; $[\sigma]=250$ МПа; суммарная нагрузка на верхнем поясе фермы $15,5$ т. При расчёте учитывались коррозионные повреждения некоторых ее элементов. Моделирование коррозионных повреждений выполнено аналогично [10]. Масса конструкции пересчитывалась на каждом шаге оптимизации.

По результатам сбора нагрузок произведён расчёт фермы с определением эксплуатационных усилий в стержнях. После чего осуществлён подбор сечений ее элементов и проведена параметрическая оптимизация.

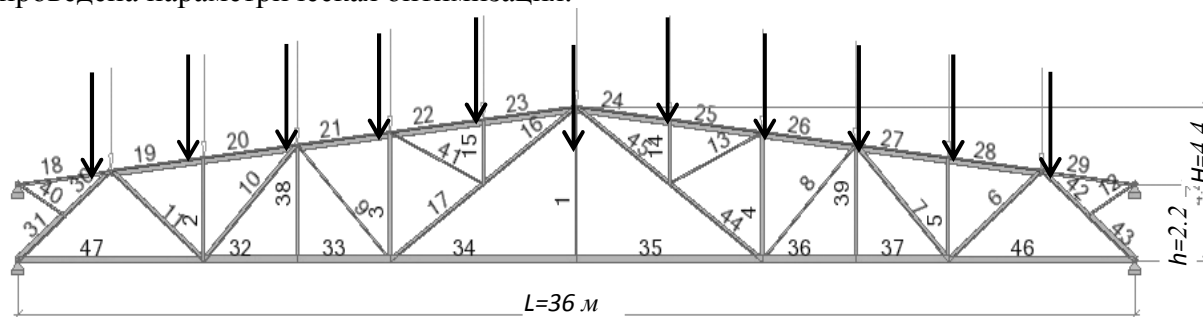


Рис. 1. Схема стропильной фермы

В исходном проекте фермы стержневые элементы были выполнены из уголков профиля (ГОСТ 8509-85 и 8510-86)табл. 1.

Таблица 1

Характеристики сечений элементов исходного проекта фермы

Номера элементов	Размеры сечений, мм
1,8	уголок 160x100x10
2-7, 10-19, 21,45	уголок 200x200x14
22,23,25,41,43,44	уголок 140x140x10
9, 20, 24, 42	уголок 90x90x8
26,29,33,37,40	уголок 63x63x6
27, 30, 36, 39, 46, 47	уголок 75x75x6
28, 38	уголок 125x125x12
31, 32, 34, 35	уголок 125x80x8

Оптимизация фермы представлена тремя проектами:

1. Удаление элементов.

Исходя из полученных карт напряжений (рис. 2) определялись малонагруженные элементы, которые затем удалялись (на рисунке указаны стрелками). Это позволило достичь более равномерного распределения напряжений в элементах фермы и снизило расход металла на 4,2%. Дальнейшее удаление элементов нецелесообразно, так как может привести к потере устойчивости верхнего пояса фермы (рис.3).

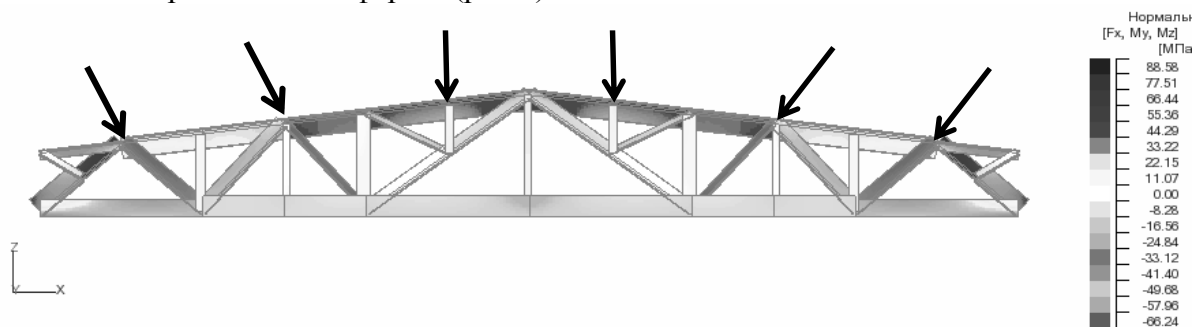


Рис.2. Карта напряжений в исходной ферме

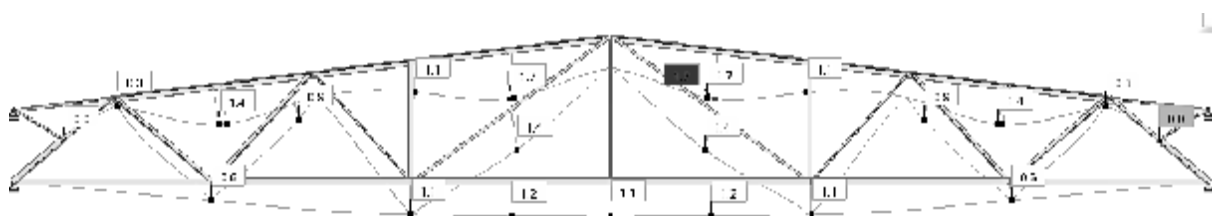


Рис.3. Прогибы фермы при удалении элементов

2. Уменьшение площади поперечного сечения элементов фермы.
Сечения стержней представлены в табл. 2

Таблица 2

Характеристики элементов второго проекта оптимизации фермы

Номера элементов	Размеры сечений, мм
18-29	уголок 125x80x8
32,33,36,37,47,47	уголок 90x8
11,30,34,35,6,42	уголок 140x10
31,43	уголок 200x14
1-5,8,9,1-17,38,39,41,44,45	уголок 63x6

Как и в предыдущем проекте оптимизации, была достигнута экономия металла по сравнению с исходным на 55,2%, а по сравнению с первым на 53,3%.

Уменьшение площади конструкции, контактирующей с агрессивной средой позволяет снизить коррозионные повреждения и сэкономить на антикоррозионных мероприятиях.

3. Изменение формы поперечного сечения

Элементы фермы имеют трубчатые сечения, их характеристики представлены в табл.3

Таблица 3

Характеристики элементов третьего проекта оптимизации фермы

Номера элементов	Размеры сечений, мм
18-29,32-37,46,47	108x5
2,10-12,6,7,40	95x5
30,31,42,43	121x8
3,4,8,9,13-17,1,41,44,45,39	68x5

Трубчатое сечение обладает наиболее благоприятным распределением материала относительно центра тяжести и большим радиусом инерции, одинаковым во всех направлениях, что обеспечивает, по сравнению с открытыми профилями той же площади, высокую общую и местную устойчивость стержней. Также сечение в виде трубы является, в силу своей формы, коррозионностойким.

Сравнение проектов оптимизации приведено в табл. 4. Изменение веса фермы на этапах оптимизации для трёх проектов показано на рис. 4.

Таблица 4

Результаты проектов оптимизации

№ п/п	Оптимизация	Вес конструкции, кг	Площадь окраски, м ²	Максимальный прогиб, см
1	Исходный проект	4216	87,85	1,3
2	Вырезание стержней	4040	81,25	1,7
3	Изменение формы сечения	1888	58,52	2,3
4	Изменение площади сечения	1794	46,59	2,4

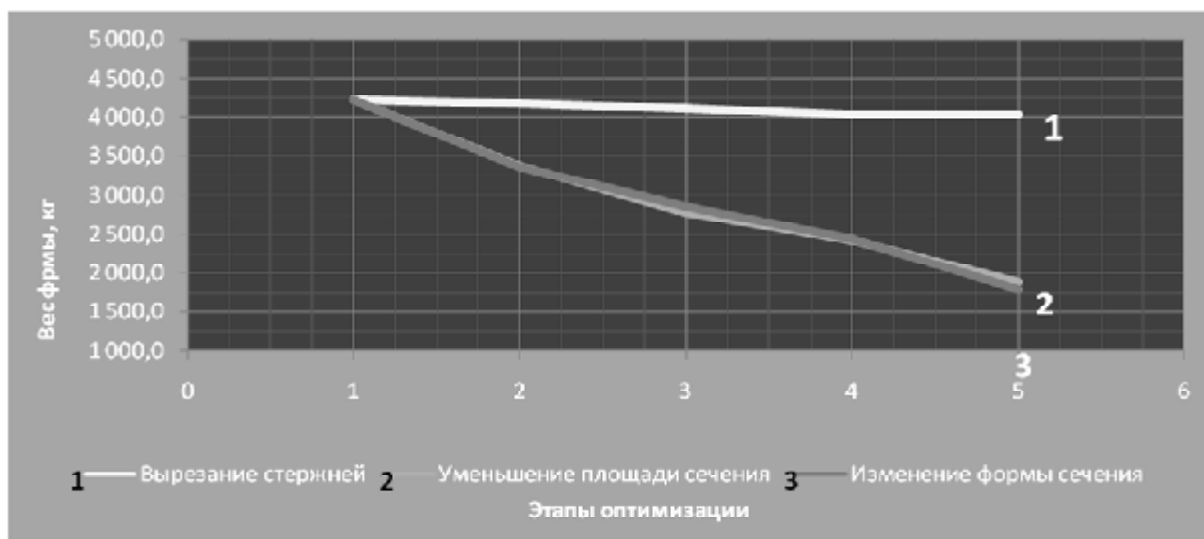


Рис. 4. Результаты оптимизации фермы

Во многих работах показано преимущество стержневых элементов металлоконструкций с круглым или трубчатым сечением [4, 10]. Но круглые или трубчатые стержни трудно соединять в узле при изготовлении или монтаже металлоконструкций.

Применение прокатного профиля (2-ой проект оптимизации) с уменьшенным сечением превышает по расходу металла 3 проект на 5%, но при этом достигается простота монтажа, что в итоге более экономично.

Разница в прогибах оптимизированной конструкции, полученная при сравнении результатов расчёта в Robot и Лира составила в пользу Robot для наиболее экономичных 2-го и 3-го проектов 23% и 25% соответственно, что иллюстрирует рис. 5.



Рис. 5. Сравнение результатов расчёта в Лире и Robot

Выводы

В виду того, что элементы реальных конструкций, имеющие в большинстве своём постоянные геометрические и физические характеристики, нагружены с разной интенсивностью и поэтому различаются напряжениями, конструктивные схемы с постоянными характеристиками элементов заведомо нерациональны.

Следует учесть, что необоснованные изменения расчётной схемы могут привести к разрушению конструкции или повлиять на ее живучесть. Установлено, что исключение из работы некоторых элементов фермы приводит к росту моментов и поперечной силы, что влечёт обрушение всей конструкции.

В последнее время распространена тенденция реконструкции существующих сооружений. В связи с этим результаты выполненной работы могут быть полезны для выявления резерва работоспособности стержневых металлоконструкций с повреждениями отдельных элементов.

Резерв можно объяснить тем обстоятельством, что конструкции введенные в эксплуатацию несколько десятилетий назад, изначально обладали повышенной прочностью, а, следовательно, имеют запас несущей способности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хог Э. Прикладное оптимальное проектирование. - Механические системы и конструкции / Хог Э., Арора Я. – М.: Мир, 1983. – 479 с.
2. Сейранян А.П. Квазиоптимальные решения задачи оптимального проектирования с различными ограничениями / А.П. Сейранян // Прикладная механика. – 1977. – № 6. - С. 18 - 26.
3. Прагер В. Основы теории оптимального проектирования конструкций / В. Прагер // пер. с англ. А.Г. Лапиги; Под ред. Г.С. Шапиро. – М.: Мир, 1977. – 103 с.
4. Овчинников И.Г. Математическое моделирование процесса взаимодействия элементов конструкций с агрессивными средами / Овчинников И.Г., Петров В.В. // Деформирование материалов и элементов конструкций в агрессивных средах. – Саратов: СПИ, 1983. – С. 3 – 11
5. Алексеенко Б.Г. Расчет и оптимальное проектирование рамных систем, подверженных коррозионному износу / Б.Г. Алексеенко // Математические методы в задачах расчета и проектирования сложных механических систем: Сб. научн. трудов. – К., 1992. – С. 4 – 10.
6. Перельмутер А.В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций / А.В. Перельмутер. – М.: АСВ. – 2007. – 256 с.
7. Юрьев А.Г. Оптимизация ферм на основе энергетического критерия / А.Г. Юрьев // Вестник БелГТАСМ. – 2002. – №2. – С. 59 – 61.
8. Юрьев А.Г. Основы проектирования рациональных несущих конструкций / А.Г. Юрьев. – Белгород: БТИСМ, 1988. – 94 с.
9. Павлова Т.А. Развитие метода расчета строительных конструкций на живучесть при внезапных структурных изменениях: Автореф. дис. канд. техн. наук / ОГТУ. – Орел. – 2006. – 22 с.
10. Зеленцов Д.Г. Исследование влияния периметра на оптимальные параметры сечений корродирующих изгибаемых стержневых элементов./ Зеленцов Д.Г., Ускова Т.Ю. // Вопросы химии и химической технологии. – 2004. – № 6. – С. 119 – 122.

УДК 624.012.4.41

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ КОНСТРУКЦИЙ

Линченко Ю.П.

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

Рассмотрены современные проблемы автоматизированного проектирования зданий в сложных условиях и подготовки специалистов в условиях массового внедрения информационных технологий. К решению задач применены методы системного анализа. Представлен анализ некоторых объектов и рекомендации по проектированию и подготовке специалистов. Намечены дальнейшие пути развития методики автоматизированного проектирования. В условиях информационных технологий эффективна общая системная методическая последовательность в обучении, исследованиях и проектировании: логический анализ – предварительная оценка ожидаемого результата (гипотеза численного моделирования) – численное моделирование – верификация результатов.

Автоматизированное проектирование, численный эксперимент, преподавание, система, анализ

ВВЕДЕНИЕ

Назрело противоречие между современным уровнем развития программных средств САПР и методами обучения и проектирования. В монографиях, коллективных работах рассматриваются теоретические основы и характеристика программных средств для решения различных задач анализа конструкций. Учебные пособия раскрывают интерфейс программных средств и подробно показывают примеры расчета. Методика анализа конструкций на базе современных профессиональных программных средств получает развитие в последние годы с начала XXI века.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Для сложных технических систем стала вырабатываться концепция такого системного анализа, в котором упор делается преимущественно на разработку новых диалектических принципов научного мышления, логического анализа ТС с учетом их взаимосвязей и противоречивых тенденций. При таком подходе на первый план выдвигаются уже не математические методы, а сама логика системного анализа, упорядочение процедуры принятия решений.

А.С.Городецкий в своих работах отмечает, что расчет это способ рассуждения; в старину инженера называли «рассуда». Подходы к системному анализу конструкций в САПР изложены в работах А.С. Городецкого, И.Д. Евзерова [1].

Вместе с тем в настоящее время именно логическому анализу, приближенной оценке конструктивных решений, влияния дефектов уделяется недостаточно внимания в обучении, в проектировании и на протяжении всего жизненного цикла объекта строительства. Системный подход к обучению анализа задач результатов расчета, формирования документации не достаточно разработан и освещен в литературе. Только в последние годы начинают больше внимания уделять методика анализа и проектирования конструкций и несущих систем зданий на базе современных профессиональных программных средств.

В связи с этим меняется роль человека в человеко-машинной системе. От вычислительной работы надо переходить к аналитической. Собственно, и системный анализ, соотносившийся ранее в основном с математическими методами, возвращается к логическим методам. Это вызывает изменение всей системы: подготовка специалистов – исследования – проектирование. Причем это положение ни в коей мере не принижает роль программного обеспечения. Наоборот – системное его применение выводит на новую синергетическую эффективность.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

Цель: развитие методов проектирования на базе современных информационных технологий.

Задачи:

1. Анализ системности проектных и научно-исследовательских работ, выполненных в лаборатории САПР;
2. формулирование принципов системного подхода в исследованиях, проектировании и обучении.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Сформулируем гипотезы методики исследований, проектирования и преподавания в условиях информационных технологий. Основной метод исследований – верифицированный численный эксперимент. Рабочей гипотезой численного эксперимента является логический анализ приближенное аналитическое решение. Основным методом верификации является точечный физический эксперимент.

Эффективное и надежное проектирование на базе современных программных средств можно осуществить только на основе системного подхода объединяющего на новом системном уровне известные методы анализа. Рекомендуемая последовательность: анализ физической сущности задачи, представление физической модели; анализ по аналогам; анализ приближенным ручным экспресс-расчетом; анализ приближенных и локальных моделей средствами САПР; уточненный анализ численных моделей для конечного проектирования.

Обязательным этапом исследований и проектирования является логический анализ на базе фундаментальных законов механики и приближенная оценка ожидаемого результата. Результаты этих операций являются и гипотезами и верификацией последующего компьютерного моделирования и расчетов.

В моделировании следует использовать ряд моделей: концептуальная, рабочая, фрагмент, заместитель, интегральная и т.п. Каждая модель должна сопровождаться предварительным анализом.

Метод обучения должен включать все перечисленные методы исследований и проектирования. Задачи при обучении должны быть многоуровневыми по сложности. Оценка знаний – по достигнутому уровню сложности задачи при стандартном качестве выполнения. Не допускается переход на следующий уровень сложности без осмысленного выполнения задачи предшествующего уровня.

Программа сама по себе не может решить не структурированную задачу, а лишь предоставляет данные для принятия решения. Следовательно, функция человека в человеко-машинной системе – образная, приближенная оценка ситуации и построение гипотезы, которая затем может проверяться и уточняться на компьютере. Необходим переход к системному анализу, как к образу мышления. Однако заложить такой образ в полной мере можно только в процессе подготовки в школе, в Вузе. Следовательно, системный анализ непосредственно связывает развитие проектирования с развитием преподавания и обучения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Рассмотрим некоторые примеры из практики проектирования, исследований и преподавания лаборатории САПР. Эти примеры будут характеризовать в значительной мере еще не полностью преодоленную бессистемность применяемых методов и некоторые успехи системного применения.

Системный подход частично реализован при проектировании сложной несущей системы здания на склоне в районе сейсмичностью 8 баллов (рис.1). Применен комплекс программных средств и методов. В частности метод интегральных элементов, моделирующих работу сваи в грунте [2]. Однако мы видим, что исходной была не концептуальная упрощенная модель, а сразу точная рабочая модель. Это повлекло большие трудозатраты при учете мелких архитектурных изменений, и отработке методов моделирования.

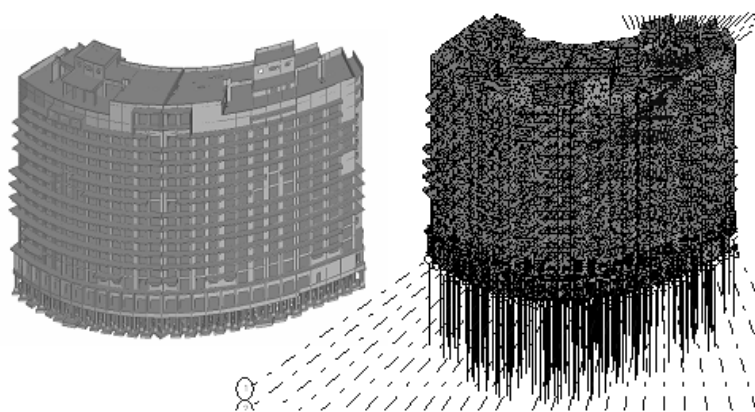


Рис.1. Расчетная модель многоэтажного здания в сложных инженерно-геологических условиях. Стадия РП

Более четкий системный подход применен при анализе обеспечения сейсмостойкости в проекте многоэтажного здания (рис.2). Уже логический анализ выявил не достаточное количество диафрагм в продольном направлении. К тому же в проекте не было предусмотрено увеличение вертикального армирования у торцов диафрагм. Для обоснования расстановки дополнительных диафрагм была построена концептуальная модель в течение трех часов и на ней обоснована необходимость увеличения армирования и расстановка

дополнительных диафрагм по крайним продольным осям. После этого концептуальная модель была доработана до детальной рабочей модели.

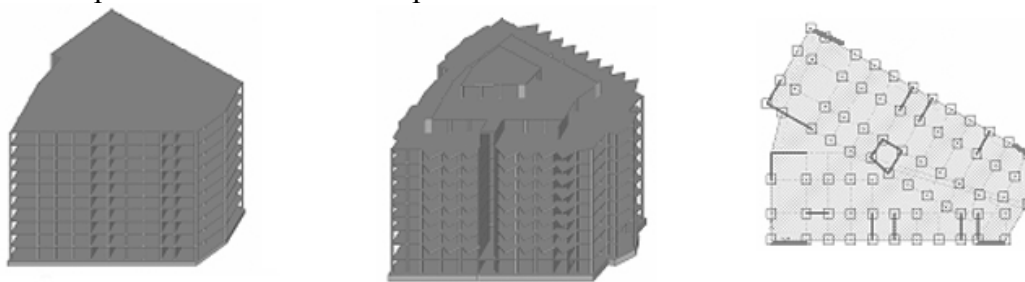


Рис.2. Концептуальная экспресс-модель; добавление диафрагм; модель рабочего проектирования

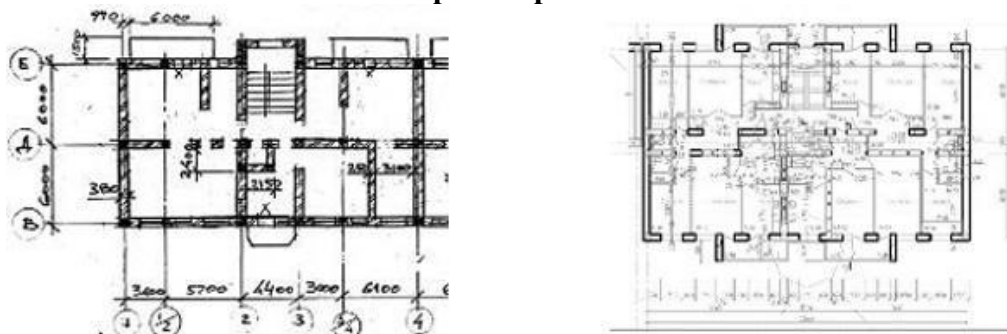


Рис.3. Планы зданий: а) проектируемого 7-этажного в 8-бальной зоне, б) аналога - 9-этажного в 7-бальной зоне

Нам на экспертизу поступил проект 7-этажного каркасно-каменного здания в 8-бальной зоне. Проект был выполнен без расчета несущей системы здания по аналогу – 9-этажному зданию в 7-бальной зоне (рис.3).

Только в процессе разработки проекта возникли сомнения (логический анализ) в сейсмостойкости проектируемого здания. В таблице представлен выполненный нами логический сопоставительный анализ проектов с приближенной оценкой сейсмостойкости.

Общее влияние факторов: $K = 1.2 \times 0.7 \times 1.3 \times 1.2 / 0.5 = 2.4$. Главные растягивающие напряжения в стенах проектируемом здании будут в 2.4 раза больше, чем в здании аналоге. Гипотеза: сейсмостойкость проектируемого здания не обеспечена.

Компьютерное моделирование проводилось в исследовательских целях для развития методики логического анализа. Мероприятия по обеспечению сейсмостойкости выяснились уже при логическом анализе. Необходимо развивать прикладные методики логического анализа. На рис.4 представлена общая модель проектирования на базе принципов системного анализа.

Таблица 1

Оценка влияния сейсмичности и конструктивных особенностей на значение главных растягивающих напряжений в стенах

Фактор	Здание аналог	Здание проектируемое	Кoeff. влияния
Сейсмичность	7 баллов	8 баллов	1.2
Этажность	9 этажей	7 этажей	0.7
Продольные стены	две	одна	1.3
Стены	Постоянные по высоте	Сужение проемами на нижнем этаже	1.2
Материал кладки	Крупные блоки пильного известняка	Кирпич	0.5

- **Логический анализ:** Задание - эскиз – системный анализ – **логическая модель** – предварительная оценка – варианты – **ГИПОТЕЗА**
- **Вариантное проектирование:** локальные модели – анализ эффектов - **концептуальная модель** – анализ вариантов – **обоснование**
- **Рабочее проектирование:** проектные модели – **виртуальная модель** – **проект**
- **Строительство:** виртуальная модель – динамическая коррекция – **виртуальный объект**

Рис.4. Модель системного проектирования

При внедрении круглопустотных плит перекрытий непрерывного экструзионного формования в сейсмических районах встал вопрос устройства выпусков арматуры. Было принято решение устраивать анкеры с выпусками в пустотах плит. Такое решение известно, однако не имело экспериментального обоснования. Исследования были выполнены в методической последовательности: логический анализ физической модели – аналитическая предварительная оценка анкеровки – предварительный численный эксперимент – верификация численного эксперимента физическим экспериментом – полнофакторный численный эксперимент – методика проектирования перекрытий [3].

Логический анализ. Рассмотрим процесс загрузки выпуска арматуры. Арматурный стержень работает в упругой стадии. Бетон работает не линейно и деформации содержат пластическую часть. При загрузке арматурного выпуска растягивающей нагрузкой в бетоне возникнут растягивающие напряжения, достигающие максимального значения в контактном слое бетона на некотором расстоянии от начала анкеровки. При достижении растягивающих напряжений в бетоне предела прочности образуется первая пространственная трещина. При увеличении нагрузки образуются следующие трещины с некоторым шагом. Бетон в зоне трещинообразования будет разбит на блоки в виде конусов. В блоках в направлении вдоль трещин действуют главные сжимающие напряжения; в перпендикулярном направлении – главные растягивающие напряжения. По длине стержня растягивающие напряжения в стержне затухают. Достигается равновесие нагрузки и внутренних усилий.

Деформация арматуры линейная. Полные деформации бетона складываются из следующих компонент: 1- упругие деформации, 2- пластические деформации, 3 – после образования - ширина раскрытия трещин. Сцепление на некотором участке будет нарушено или, по крайней мере, ослаблено. Но, это будет компенсировано тем, что бетон контактного слоя (и в т.ч. между трещинами) станет работать не на отрыв, как в начале анкеровки, а в распор.

После достижения максимума нагрузка на выпуск начнет уменьшаться. Упруго деформированный выпуск арматуры станет сокращаться. Упругая часть деформаций бетона будет восстанавливаться. Когда упругие деформации бетона восстановятся и напряжения в бетоне обнулятся, напряжения и деформация арматуры еще не будут равны нулю и передадут на бетон усилия обратного знака. Напряжения от этих усилий будут возрастать, пока нагрузка на загруженном конце выпуска не станет равной нулю. Деформации от этих напряжений в бетоне также будут содержать упругую и неупругую части. Напряжения могут достичь такого значения, что появятся трещины уже от них. При последующем цикле загрузки до закрытия этих трещин стенки блоков будут работать на излом, а затем на сжатие.

В результате рассмотренных процессов часть зоны анкеровки будет нарушена и образуется новая конструкция с уменьшенной длиной анкеровки. При последующих циклах

нагрузки процесс уменьшения длины анкеровки будет продолжаться, что может привести к ее полному нарушению. Количество циклов нагрузки до разрушения зависит от ее уровня. Придет ли конструкция в равновесие или после некоторого количества циклов разрушится? Очевидно, это зависит от длины анкеровки и уровня нагрузки.

Таким образом, мы имеем дело не только с физической нелинейностью материалов, но и конструктивной нелинейностью, являющейся следствием физической. При численном моделировании необходимо учесть все перечисленные факторы. Приведенные выше рассуждения являются рабочей гипотезой численного моделирования.

Испытания численных моделей выполнялось при средних характеристиках материалов до разрушения. Средние характеристики определены обратным переходом от характеристических значений. Результаты испытаний были верифицированы физическим экспериментом при варьировании длины анкеровки и фиксированных характеристиках материалов. В испытаниях однократным нагружением до разрушения получено удовлетворительное соответствие между численными и физическими экспериментами.

В численных экспериментах прослеживается та же методическая последовательность, что и в проектировании: логический анализ – приближенная оценка ожидаемого результата – численное моделирование с использованием моделей различного уровня и назначения – предварительная верификация численных моделей – полнофакторный эксперимент на верифицированных моделях – точечная верификация результатов.

Из приведенных выше примеров видно, что структурно-параметрические схемы исследований и проектирования подобны. Следовательно, и в обучении необходимо применять эту методическую схему. Анализ на базе основных закономерностей позволяет быстро без применения технических средств рассмотреть физическую сущность задачи и получить осмысленное приближенное решение являющееся гипотезой численного моделирования.

Выводы

1. В условиях информационных технологий эффективна общая системная методическая последовательность в обучении, исследованиях и проектировании: логический анализ – предварительная оценка ожидаемого результата (гипотеза численного моделирования) – численное моделирование – верификация результатов.

2. При системном подходе важнейшими функциями специалиста становятся логический анализ задачи, приближенная оценка ожидаемых результатов и их верификация. Описание и результаты этих операций должны отражаться в проектной, исследовательской и проектной документации.

3. Необходимо дальнейшее развитие прикладных методов логического анализа и предварительной оценки ожидаемых результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Городецкий А.С., Евзеров И.Д. Компьютерные модели конструкций. –К.: Факт, 2007.- 394 с.
2. Линченко Ю.П. Метод интегральных конечных элементов в моделировании свайного основания / Ю.П. Линченко, А.А. Горусов // Строительство и техногенная безопасность: Сборник научных трудов НАПКС. – Симферополь, 2009. - Выпуск 28. – С. 5-8.
3. Линченко Ю.П. Методика численного моделирования анкерного узла многопустотных экструзионных плит непрерывного формования / Ю.П. Линченко, В.А. Константинов // Строительство и техногенная безопасность: Сборник научных трудов НАПКС. - Симферополь, 2005. – Вып. 12. – С. 37-43.
4. Линченко Ю.П. Методические основы изучения автоматизированного проектирования и управления строительством. //Сб. Науч. Тр. Строительство и техногенная безопасность, Симферополь. КАПКС, 2003. – Вып. №8. -С.12-17.

К ВОПРОСУ РАСЧЕТА ОПОР КОНТАКТНОЙ ТРОЛЛЕЙБУСНОЙ СЕТИ ПРИ РАЗМЕЩЕНИИ НА НИХ РЕКЛАМНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Линченко Ю.П., Васильев М.В., Белавский В.А.

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

Описано выполнение расчета несущей способности опоры на основное и аварийное сочетание нагрузок с учетом геометрической нелинейности проводов контактной сети троллейбусного транспорта.

Программный комплекс Лира, геометрически нелинейные конечные элементы (КЭ), опоры контактной сети троллейбусного транспорта

ВВЕДЕНИЕ

От контактной сети происходит запитывание электроснабжения троллейбуса. Контактная сеть троллейбуса работает в сложных условиях, учитывающих целый ряд особенностей, как токосяема, так и эксплуатации данного типа оборудования. К особенностям эксплуатации относятся и уровень натяжения контактных проводов и эксплуатация при действующих ветровых и гололедных нагрузках.

В контактной сети троллейбуса различают несколько систем подвески проводов: простую, поперечно-цепную, продольно-цепную, маятниковую и полигонную.

При расчете рассматриваемого случая опор контактной троллейбусной сети использовались два типа систем подвески проводов: простая и поперечно-цепная.

Контактная сеть троллейбуса включает в себя контактные провода, подвесную арматуру, специальные устройства, поддерживающие тросовые системы и кронштейны, а также опоры, на которых монтируют сеть. Контактный провод изготавливают из твердотянутой электролитической меди. Контактные провода имеют стандартный профиль и площадь поперечного сечения 85 мм^2 .

Для более полного использования прочностных свойств материала конструкций и определения их напряженно-деформированного состояния в настоящее время актуальным является учет геометрической нелинейности в работе тросовых систем.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Анализ существующих публикаций показал недостаточное освещение решения прикладных задач расчета несущей способности строительных конструкций с учетом геометрической нелинейности. В данной работе уделяется внимание решению задачи расчета несущей способности опор контактной троллейбусной сети на основное и аварийное сочетание нагрузок с учетом геометрической нелинейности проводов в программном комплексе Лира.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Расчет опор был выполнен для участка контактной троллейбусной сети в районе разворотного кольца на площади Амет-Хана Султана г. Симферополя. Общая площадь рассматриваемого участка составляет около 9000 м^2 . По периметру разворотного кольца расположено 14 опорных стоек, связанных тросовыми системами с двумя центральными опорными стойками, расположенными друг от друга на расстоянии 30 м. Среднее расстояние между опорными узлами тросовой системы крайних и средних опорных стоек составляет 40-50 м.

Расчетная модель тросовой системы была построена в трехмерном виде с использованием картографического изображения участка в качестве подосновы. Картографическое изображение участка было получено с помощью программы Google Планета Земля. Общий вид картографического изображения участка с построенной моделью тросовой системы контактной троллейбусной сети представлена на рис. 1.



Рис. 1. Общий вид картографического изображения участка с построенной моделью тросовой системы контактной троллейбусной сети

Конструктивно рассматриваемое сооружение контактной троллейбусной сети представляет собой свободно стоящую конструкцию при помощи фундамента жестко заделанную в основание. В настоящее время основное назначение опорных стоек – крепление растяжек для подвески контактной сети троллейбусного транспорта.

Целью работы являлось определение несущей способности центральных опорных стоек, рассматриваемого участка сооружения контактной сети с учетом размещения на них рекламных щитов с размерами 6,2х3,3 м. Фундаменты центральных стоек выполнены свайными из буронабивных свай с плитным ростверком.

Центральные стойки выполнены из стальной электросварной трубы со спиральным швом. Наружный диаметр трубы 630 мм.

Построение расчетной модели несущей системы сооружения и расчет был выполнен с использованием программного комплекса Лира. Работу стоек моделировали стержневыми элементами, растяжки и провода контактной троллейбусной сети – специальными, геометрически нелинейными конечными элементами типа нить (КЭ 310).

Нагрузку от собственного веса растяжек и проводов контактной троллейбусной сети программный комплекс Лира вычислял автоматически исходя из следующих параметров принятых в расчете. Растяжки выполнены из стальной проволоки диаметром 5 мм. Материал проводов – медь (плотность 8,92 г/см², начальный модуль деформации 1,3e7 т/м²).

Характеристическое значение нагрузки от собственного веса щита принято равным 5,6 кН, расчетное значение – 5,9 кН. Нагрузка приложена на расстоянии 8,5 м от низа стойки с эксцентриситетом 0,4 м от оси стойки.

Ветровую нагрузку определяли исходя из характеристического значения ветрового давления для г. Симферополь $W_0 = 460$ Па. Расчетное значение ветровой нагрузки составит $W_m = 660$ Па. При размерах щита 6,2х3,3 м, сосредоточенная сила от ветровой нагрузки составит 13,5 кН.

Предельное расчетное значение веса гололедных отложений для растяжек и проводов ($G_m = 0,01$ кН/м) получено для 2-го района по характеристическому значению толщины стенки гололеда. Для рекламного щита расчетное значение веса гололедных отложений составило $G_m = 1,6$ кН, при расчетном значении нормального давления ветра $W_q = 290$ Па. При

размерах щита 6,2х3,3 м, сосредоточенная сила от ветровой нагрузки на поверхность покрытую гололедом составила 5,9 кН.

Общий вид расчетной модели, рассматриваемого участка сооружения контактной сети представлен на рис. 2. Характеристики конечных элементов расчетных моделей представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Характеристики конечных элементов расчетных моделей

Тип жесткости	Имя	Параметры (сечения-(м) жесткости-(т,м) расп.вес-(т,м))	Описание
1	Труба 630х7	$q=0.107505$	Стойка (нижняя часть)
		$EF=287794, EI_y=1.4e+004$	
		$EI_z=1.4e+004, GI_k=1.06e+004$	
		$Y1=0.154, Y2=0.154, Z1=0.154, Z2=0.154, RU_Y=0, RU_Z=0$	
2	Труба 325х6	$q=0.0471829$	Стойка (верхняя часть)
		$EF=126310, EI_y=1.61e+003$	
		$EI_z=1.61e+003, GI_k=1.22e+003$	
		$Y1=0.0783, Y2=0.0783, Z1=0.0783, Z2=0.0783, RU_Y=0, RU_Z=0$	
3	КЭ 310 (нить) (растяжки)	$Ro=7.85, E=2e+007, D=0.005, d=0$	Растяжки
		$HD L=20$	
4	КЭ 310 (нить) (провода)	$Ro=8.93, E=1.3e+007, D=0.0105, d=0$	Провода
		$HD L=20$	

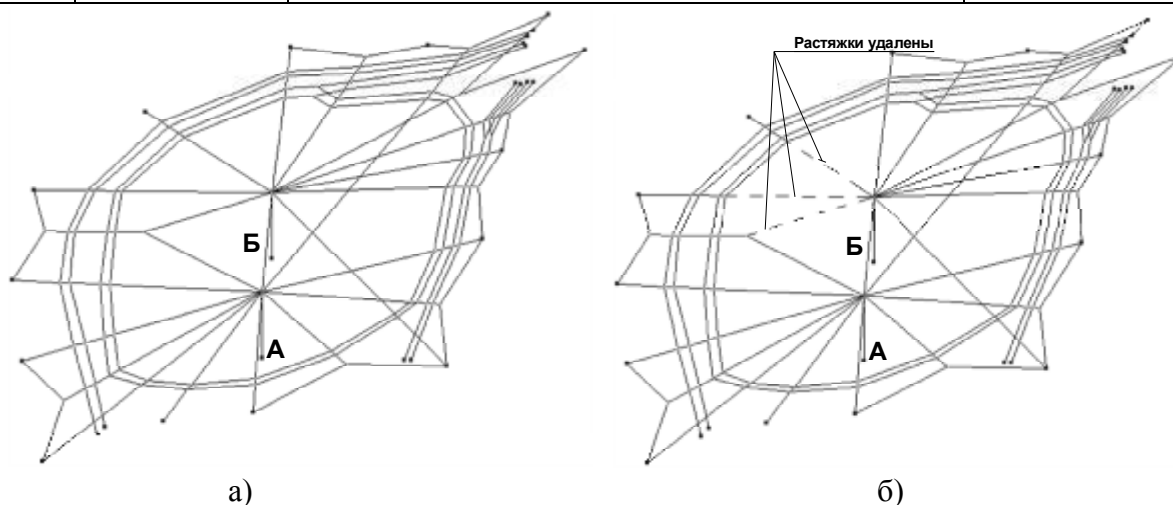


Рис. 2. Общий вид расчетной модели, рассматриваемого участка сооружения контактной сети: а) основное сочетание нагрузок; б) аварийное сочетание нагрузок

Для определения несущей способности элементов было рассмотрено четыре варианта расчетной модели:

- основное сочетание нагрузок без гололедной нагрузки;
- основное сочетание нагрузок с гололедной нагрузкой;
- аварийное сочетание нагрузок без гололедной нагрузки. Моделировали обрыв всех растяжек с одной стороны стойки (рис. 2.б);
- аварийное сочетание нагрузок с гололедной нагрузкой. Моделировали обрыв всех растяжек с одной стороны стойки (рис. 2.б).

Обрыв растяжек моделировали с помощью расчетно-графической системы «МОНТАЖ плюс» программного комплекса Лира. Расчетно-графическая система «МОНТАЖ плюс» предназначена для компьютерного моделирования процесса возведения сооружений и

предусматривает монтаж и демонтаж элементов или изменение условий закрепления конструкций.

Для рассмотренных вариантов моделей определяли значение изгибающих моментов и продольных сил в основании стоек.

Для выполнения оценки несущей способности основания и фундамента стоек были определены следующие сочетания усилий:

1) при максимальной продольной силе $N=24,8$ кН ($M=167,0$ кНм, $Q=15,2$ кН);

2) при максимальном моменте $M=294,7$ кНм ($N=23,3$, $Q=24,6$ кН).

Оценка несущей способности стойки выполнена для варианта с максимальным изгибающим моментом (стойка Б, вариант модели – 4).

В соответствии с ГОСТ 8696–74 «Трубы стальные электросварные со спиральным швом» для труб с наружным диаметром 630 мм толщина стенки может быть от 5 до 10 мм. Несущая способность стойки обеспечена при толщине стенки 5 мм.

Для всех рассчитанных сечений элементов были представлены результаты проверок по прочности и устойчивости (по первому предельному состоянию), гибкости и прогибу (по второму предельному состоянию). Результаты выводят в виде процентов использования сечения в сравнении с предельной несущей способностью по той или другой проверке.

Процент использования сечения в сравнении с предельной несущей способностью по первому предельному состоянию составил 83%, по второму предельному состоянию составил 69%, что с учетом обеспечения условий прочности свайного фундамента сделало возможным размещение на стойках дополнительных рекламных конструкций.

Выводы

1. Выполнено построение расчетной модели несущей системы сооружения контактной сети троллейбусного транспорта.

2. Расчет несущей способности стойки контактной сети выполнен на основное и аварийное сочетание нагрузок с учетом гололедной нагрузки и обрыва растяжек контактной сети троллейбусного транспорта.

3. Обрыв растяжек моделировали с помощью расчетно-графической системы «МОНТАЖ плюс программного комплекса Лира».

4. Выполнение проверки несущей способности показало возможность размещения на стойках дополнительных рекламных конструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ДБН В.1.2-2:2006. Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования // Минстрой Украины, Киев 2006.
2. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонные и железобетонные конструкции. –К.: Минрегионстрой Украины 2011г.
3. Программный комплекс «ЛИРА – 9.0». Инструкция пользователя. Киев. НИИАСС, 2001 г.
4. ДБН В.2.6-163:2010* Стальные конструкции. Нормы проектирования, изготовления и монтажа./ Минрегионстрой Украины. –К.: 2011г.
5. Коган Л.Я., Корягина Е.Е., Белостоцкий И.А. Устройство и эксплуатация троллейбуса. Издательство: Высшая школа. 1975г. 343с.

ИЗГИБНО-КРУТИЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ПЛОСКОЙ ПЛАСТИНЫ В ПОТОКЕ ВОЗДУХА

Тарабара И.Ю., Чемодуров В.Т.

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

В статье рассмотрен вопрос, связанный с разрушением висячих мостов под воздействием аэродинамических сил в потоке воздуха с различными скоростями. Наиболее опасным последствием этих сил является наложение изгибных и крутильных колебаний конструкции, приводящих к явлению флаттера. При этом реальная конструкция моста моделируется плоской пластиной с приведенными массой и жесткостью реальной схемы. Усилия подвеса не учитываются.

Висячий мост, изгибно-крутильные колебания, флаттер конструкции, аэродинамическая нагрузка

ВВЕДЕНИЕ

Аэродинамические силы, возникающие при порывах ветра, как с постоянной скоростью, так и с переменной, относятся к категории динамических нагрузок. Наиболее опасным последствием этих сил является флаттер конструкции, который относится к категории самовозбуждающихся колебаний упругих ее элементов в потоке воздуха.

Флаттер возникает, когда колебания в потоке газа приводят к дополнительной аэродинамической нагрузке. При малых скоростях ветра он невозможен, так как дополнительные демпфирующие силы больше сил, приводящих к колебаниям. Начиная с некоторой критической скорости, демпфирующие силы оказываются меньше сил, возбуждающих колебание системы. Возникающие при этом колебания могут привести к разрушению конструкции. Важно знать минимальную критическую скорость ветра, при которой возможен флаттер.

При колебательном процессе полотна реальной конструкции висячего моста вторым разрушающим его фактором является динамическое нагружение тросов подвеса. Этот вопрос в данной статье не рассматривается.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Разрушение мостов вследствие аэродинамической неустойчивости при ветровых воздействиях:

Мост Чейн-Пиэр в Брайтоне (Англия) разрушение под действием аэродинамических сил 30.11.1836 г., во время шторма.

Подвесной мост Уиминг-Бридж через реку Огайо (США) разрушился во время шторма в 1854 г., вследствие сильной раскачки и возникновения крутильных колебаний

Подвесной мост через реку Такома в Пачет-Саунде (США) разрушился в 1940 г., вследствие возникновения изгибно-крутильных колебаний под действием аэродинамических. Уже при скорости ветра 17м/с возникли изгибно-крутильные колебания с частотой 0,6Гц, когда их амплитуда достигла до 1,5м.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

Целью исследования является разработка математической модели изгибно-крутильных колебаний плоской пластины в потоке воздуха, определение критических условий возникновения флаттера конструкции.

Для мостовых висячих конструкций, возникновение возбуждающих колебаний возможно в том случае, если линии жесткости по его длине и центров тяжести не совпадают (Рис.1.).

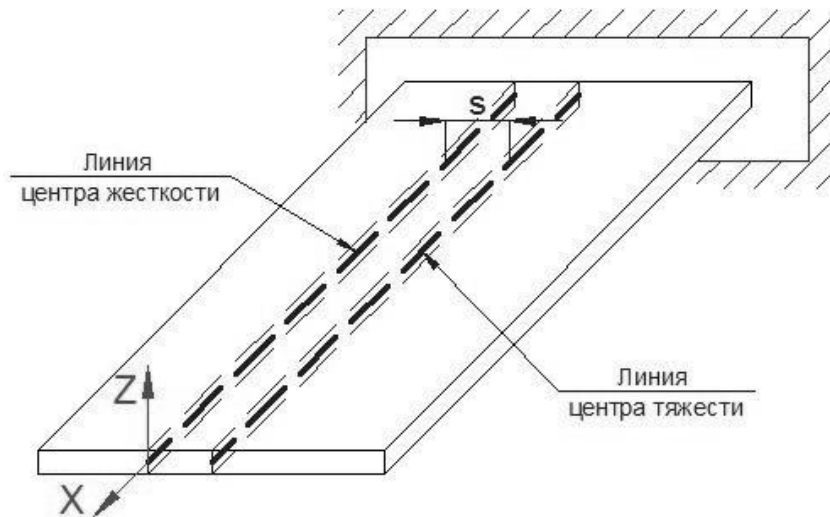


Рис. 1. Случай несовпадения линий центров тяжести и центров жесткости в пластине

Если эти линии совпадают, то изгибные и крутильные колебания существуют самостоятельно. Пусть эти линии отстают друг от друга на расстояние s .

Если возбудить изгибные колебания, то возникает крутящий момент, так как силы инерции расположены в центре тяжести, а силы упругости в центре жесткости. В этом случае силы инерции имеют плечо s относительно центра жесткости. Аналогичная картина возникает при возбуждении крутильных колебаний. Формы совместных изгибных и крутильных колебаний такие же как и отдельные, то есть при $s=0$. Поэтому при приближенном решении задач используются формы колебаний при $s=0$.

Если возбудить колебания в вакууме, то они быстро затухают. Иначе обстоит дело в потоке воздуха.

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

Метод исследования базируется на тщательном изучении причин катастроф и повреждений, связанных с разрушением мостовых полотен висячих мостов при неблагоприятных погодных условий и аномальных нагрузках. Особенно скрупулезно рассматривались колебательные процессы конструкции моста при ветровом воздействии. На основании этого предлагается методика исследования, основанная на уже известных работах по обоснованию изгибно-крутильных колебаний крыла самолета.

ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

На Рис. 2. изображено сечение пластины. Предположим, под действием импульса сечение пластины начало движение вниз. Точка центра тяжести начнет отставать от точки центра жесткости, так как возникает инерционная сила $-m\dot{w}$, что приведет к развороту сечения пластины и возникновению дополнительного угла атаки $\Delta\alpha_1$.

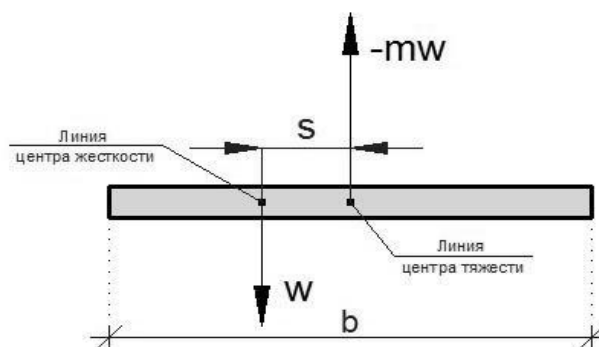


Рис. 2. Силы, возникающие в пластине

Вследствие этого возникнет дополнительная погонная сила:

$$Y_1 = c_y^\alpha \cdot \Delta\alpha_1 \cdot q \cdot b \quad (1)$$

Здесь $c_y^\alpha = 2\pi$ – для пластины – производная коэффициента подъемной силы; $q = \rho v^2 / 2$ – скоростной напор, включающий плотность воздуха ρ и скорость набегающего потока воздуха при ветре v .

Эта сила усиливает колебание (рис.3.) Колебательный процесс пластины происходит с переменной скоростью \dot{y} .

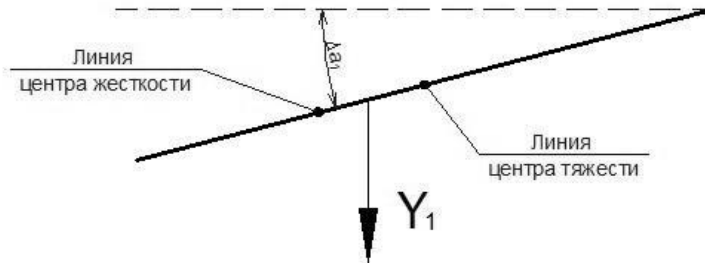


Рис. 3. Возникающая дополнительная сила

За счет этой вертикальной скорости возникает дополнительный угол атаки:

$$\Delta\alpha_2 = \dot{y} / v \quad (2)$$

Этому дополнительному углу соответствует подъемная сила (рис.4.).

$$Y_2 = c_y^\alpha \cdot \Delta\alpha_2 \cdot q \cdot b \quad (3)$$

Данная подъемная сила является демпфирующей и направлена в сторону, обратную движению профиля пластины. Таким образом, при обтекании пластины потоком воздуха на ее поверхности всегда возникает две силы (переменные во времени). Y_1 – усиливает процесс колебания, Y_2 – демпфирующая колебания. Если $Y_1 > Y_2$, то колебательный процесс бурно возрастает и может привести к разрушению конструкции, и наоборот.

Опишем математическим языком колебательный процесс пластины. Введем обозначение для прогиба оси жесткости – $y(x,t)$. Его можно представить как произведение независимых функций:

$$y(x,t) = q_1(t) \cdot f(x) \quad (4)$$

Здесь $q_1(t)$ – вертикальное перемещение точки пластины, $f(x)$ – форма изгиба колебаний первого тона.

Обычно за точку приведения принимают конечную точку консоли при закреплении одного края пластины, либо центральную точку на оси x для крепления обоих ее концов.

В процессе колебания пластина закручивается по закону

$$\theta(x,t) = q_2(t) \cdot \varphi(x), \quad (5)$$

Где $q_2(t)$ – угол закручивания, $\varphi(x)$ – форма крутильных колебаний первого тона.

Для составления деформационных уравнений изгибно-крутильных колебаний воспользуемся уравнением Лагранжа второго рода:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial U}{\partial q_i} = Q_i(t) \quad i = 1,2 \quad (6)$$

Кинематическая и потенциальная энергии для системы с двумя степенями свободы:

$$\left. \begin{aligned} T &= \frac{1}{2} (a_{11} \dot{q}_1^2 + 2a_{12} \dot{q}_1 \dot{q}_2 + a_{22} \dot{q}_2^2) \\ U &= \frac{1}{2} (c_{11} q_1^2 + 2c_{12} q_1 q_2 + c_{22} q_2^2) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Если центр жесткости и центр масс совпадают, то средние члены в формулах (7) отсутствуют. В эти формулы входят следующие параметры:

$$a_{11} = \int_0^l m f^2 dx \text{ – приведенная масса чисто изгибных колебаний,}$$

$a_{22} = \int_0^l J_m \varphi^2 dx$ – приведенная масса чисто крутильных колебаний,

$a_{12} = -\int_0^l msf\varphi dx$, при $s = 0$ $a_{12} = 0$,

$c_{11} = \int_0^l EJ(f'')^2 dx$ – приведенная жесткость чисто изгибных колебаний,

$c_{22} = \int_0^l GJ_p(\varphi'')^2 dx$ – приведенная жесткость чисто крутильных колебаний,

$c_{12} = 0$, так как деформация не зависит от положения центра жесткости,

J_m – массовый момент инерции, J_p – полярный момент инерции.

Обобщенные силы от дополнительной аэродинамической нагрузки при колебаниях пластины определяются по формулам:

$$\left. \begin{aligned} Q_1(t) &= \int_0^l \Delta F(x,t) f(x) dx, \\ Q_2(t) &= \int_0^l \Delta M(x,t) \varphi(x) dx \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Здесь ΔF – погонная поперечная нагрузка, ΔM – погонный дополнительный момент.

$$\left. \begin{aligned} \Delta F &= c_y qb \\ \Delta M &= c_m qb^2 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Для расчета необходимо иметь зависимости для коэффициентов c_y и c_m , которые зависят от угла атаки θ , скорости $\dot{\theta}$ и \dot{y} . Для пластины можно принять в первом приближении:

$$c_y = 2\pi\alpha, \quad c_m = -\pi\alpha. \quad (10)$$

Если зависимости (4) и (5) подставить в (9) и (10), то этим самым выразим ΔF и ΔM через перемещения q_1 и q_2 . Полученный результат подставляется в (8) и проводится интегрирование. В результате получим:

$$\bar{Q} = \begin{vmatrix} Q_1 \\ Q_2 \end{vmatrix} = |\beta_{ij}| \bar{q} + |\gamma_{ij}| \dot{\bar{q}} \quad (11)$$

Здесь β и γ – квадратные матрицы коэффициентов.

Далее зависимости (7) и (11) подставляются в (6). Получим два уравнения:

$$A\bar{q} + B\dot{\bar{q}} + C\ddot{\bar{q}} = 0 \quad (12)$$

Здесь нет свободного члена, который мы выразили через перемещения. А, В, С – матрицы инерции, демпфирования, восстановления. Перемещения q ищутся в форме:

$$\bar{q} = \bar{q}_0 e^{\lambda t} \quad (13)$$

Тогда будем иметь:

$$\bar{q}_0 (\lambda^2 A + \lambda B + C) = 0 \quad (14)$$

Получена система алгебраических уравнений для амплитуд колебаний. Для ее решения необходимо требование:

$$\det(\lambda^2 A + \lambda B + C) = 0 \quad (15)$$

Это характеристическое частотное уравнение четвертой степени. Его можно представить в виде:

$$a\lambda^4 + b\lambda^3 + c\lambda^2 + d\lambda + e = 0 \quad (16)$$

При $\lambda \geq 0$ – процесс расходящийся, при $\lambda \leq 0$ – затухающий. В общем случае, при решении уравнения (16) помимо действительных корней имеем и комплексные корни (Рис.4) Для области устойчивости корни уравнения (16) должны быть в левой полуплоскости.

При малых скоростях набегающего потока воздуха все корни находятся в левой полуплоскости. С увеличением скорости ветра один из корней уравнения переходит в правую полуплоскость, что соответствует расходящемуся колебательному процессу.

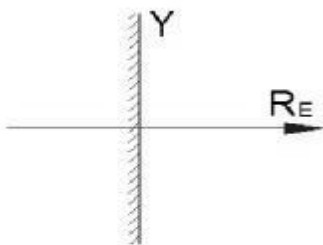


Рис. 4. Плоскость корней характеристического уравнения

Анализ зависимости (16) достаточно подробно рассмотрен в специальных курсах аэродинамики. При этом рассчитывается критерий Фауста:

$$R = bcd - b^2 e - d^2 a \quad (17)$$

При малых скоростях потока воздуха $R \leq 0$. Если $R \geq 0$ колебательный процесс становится расходящимся.

Выводы

В основной части статьи приведенная модель колебания плоскости пластины в потоке воздуха отражает идеальный процесс, позволяющий анализировать влияние массово-геометрических характеристик конструкций на возникновение изгибно-крутильных колебаний, приводящих к флаттеру, и разрушению пластин в случае, когда внутреннее усилия конструкции превысят критические значения.

На самом деле, конструкция висячего моста намного сложнее и требует более сложного аппарата для расчета его на прочность.

Если принятую модель моста использовать для анализа устойчивости и прочности пролета, то в этом случае пластина имеет жесткое защемление на двух концах пролета. Но это уже не висячий мост.

Особенность висячего моста, заключается в том, что система подвеса препятствует полноценному процессу колебания пролета моста. Однако в данном случае возникает динамическая нагрузка, как на пролет моста, так и на саму систему подвеса. Данные исследования не проводились.

Вместе с тем предложенная модель колебательного процесса плоской пластины в потоке воздуха может служить отправным моментом для детальных исследований прочности и устойчивости мостовых конструкций в условиях больших скоростей ветра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чемодуров В.Т. Проблемы обеспечения прочности и надежности ракет и пусковых установок / Чемодуров В.Т. // Учебное пособие ВМА, Л. 1990, 194 с.
2. Краснов Н.Ф. Аэродинамика /Краснов Н.Ф // Высшая школа, Ш. 1980, 496 с.
3. Немчинов Ю.И. Сейсмостойкость зданий и сооружений /Немчинов Ю.И.// К. 2008, 480 с.

РАЗДЕЛ 3. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК: 666.9: 691.511: 691.316

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРЕССОВАННЫХ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ИЗВЕСТНЯКОВ

Любомирский Н.В. , Бахтин А.С. , Бахтина Т.А. , Джелял А.Э.

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

Проведен анализ существующих аналитических уравнений прессования трехфазных дисперсных систем и определены уравнения, наиболее полно описывающие процесс их прессования. Предложена усовершенствованная приборная база для экспериментального определения деформативных характеристик дисперсных систем. Погрешность между расчетными и опытными значениями средней плотности образцов, полученных на усовершенствованном компрессионном дефометре при прессовании пресс-порошков известняка, не превышает 0,5 %.

Прессование, трехфазная дисперсная система, известняк, пресс-порошок, деформативные характеристики, коэффициент уплотнения, средняя плотность, упругое расширение, дефометр компрессионный

ВВЕДЕНИЕ

Прессование порошкообразных масс является одним из распространенных способов производства строительных материалов и изделий. Как правило, прессованию подвергаются сложные трехфазные дисперсные системы, состоящие из твердых минеральных компонентов (твердая фаза), технологической связки (жидкая фаза, как правило, вода) и порового воздуха, составляющего существенную часть объема дисперсной системы (газообразная фаза). Особенностью изготовления изделий полусухим прессованием является то, что для получения сырьевых смесей можно использовать различные мелкодисперсные отходы, которые практически не находят применения в традиционных технологиях формования. Одним из самых распространенных подобных отходов являются побочные продукты камнепиления и дробления природных известняков. Поэтому, одной из важнейших задач при оптимизации технологических параметров производства различных видов прессованных изделий на основе дисперсных систем, является обобщение и анализ протекающих процессов и наблюдаемых закономерностей на основе аналитических зависимостей. Поскольку, в способе производства изделий прессованием основным аргументом функциональной зависимости является давление прессования, то, в первую очередь, необходимо выявлять зависимости плотности прессовок (прессованных полуфабрикатов) от давления прессования, а также от его продолжительности, и уже далее от ряда основных технологических факторов (вещественного состава смеси, формовочных характеристик ее компонентов, способа подготовки перед прессованием).

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Известно, что большинство дефектов в прессованных изделиях образуются в процессе формования сырца и связаны либо с перепрессованием или недоуплотнением сырьевой смеси [1, 2]. Поэтому при оценке уплотнения необходимо выделять несколько стадий состояния прессуемой системы [3], причем основное внимание следует уделять первой стадии, т.е. максимальному сжатию в форме и последней стадии или свободному состоянию прессовки после извлечения из формы. При аналитическом описании процесса прессования дисперсных систем необходимо учитывать изменения плотности системы в момент сжатия, после снятия нагрузки и после извлечения из формы. Изменение плотности системы в процессе прессования связано с силовым взаимодействием прессуемой системы с формой, а

также явлением упругого расширения системы после снятия давления, величина которого, например, для керамических масс может достигать 10 % [2]. Причинами упругого расширения являются действие запрессованного воздуха, упругие деформации сжатия, сдвига и изгиба частиц, перемещение жидкой фазы из крупных пор в более мелкие капилляры. Образующиеся при упругом расширении поры и микротрещины способствуют снижению прочности, морозостойкости и водопоглощения готовых изделий. Упругое расширение является причиной перепрессовки дисперсных систем в производстве асбестоцементных, керамических и силикатных изделий.

Следовательно, знание величины упругого расширения, является необходимым для оценки влияния режима и степени уплотнения на плотность и качество готовых изделий.

В известных уравнениях прессования трехфазных дисперсных систем [4, 5] деформативные характеристики самой системы являются одной из составных частей математических линейных или степенных функций, в которые также входят дополнительные коэффициенты зависящие от определенных свойств системы в момент ее сжатия и снятия нагрузки. Анализ данных уравнений [6] показывает, что их недостатком является сложность и трудоемкость определения этих коэффициентов, а также значительные различия в теоретически рассчитанных и экспериментально полученных данных. Согласно данным полученным в работе [6] рассчитанные по этим уравнениям и экспериментальные данные близки между собой в диапазоне давлений прессования 5-30 МПа. При давлении прессования до 5 МПа и свыше 30 МПа наблюдаются значительные расхождения в теоретических и экспериментальных данных. Общим недостатком этих уравнений, является то, что в них не учитывается упругое расширение системы после снятия давления.

Наиболее полно процесс прессования трехфазных дисперсных систем описывает уравнение, полученное И.И. Бернсом [7], учитывающее упругое расширение материала:

$$\ln p = \frac{1}{C_{yn}} \left(\frac{1}{\rho'_{он}} + E_p - \frac{1}{\rho_o} \right), \quad (1)$$

где p – давление прессования, МПа, ρ_o – средняя плотность материала после снятия давления, г/см³; C_{yn} – коэффициент уплотнения, постоянная, см³/г; $\rho'_{он}$ – средняя плотность материала, сжатого давлением 1,0 МПа, постоянная, см³/г; E_p – упругое расширение материала после снятия давления, см³/г, определяемое по формуле:

$$E_p = \left(\frac{1}{\rho_o} - \frac{1}{\rho_{он}} \right), \quad (2)$$

где $\rho_{он}$ – средняя плотность материала, сжатого давлением p .

Как видно из уравнений в их состав входят определенные деформативные характеристики самой дисперсной системы, т.е. показатели влияющие на формовочные свойства дисперсной системы.

В связи со сложностью и разнообразием протекающих при прессовании физико-механических процессов и из-за резкого изменения их характера на различных стадиях сжатия дисперсной системы не удастся теоретически вывести надежные уравнения прессования для широких интервалов давления. Закономерное выражение связи между свойствами прессуемой дисперсной системы и технологическими параметрами затрудняется в связи с изменениями исходных зависимостей на различных этапах подготовки и сжатия системы.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

В литературе предлагаются десятки разнообразных уравнений прессования порошкообразных систем имеющих лишь одну общую особенность: по мере сжатия дисперсных систем влияние дальнейшего прироста давления прессования на их уплотнение снижается. Многие из этих уравнений адекватно описывают процесс прессования лишь в небольших граничных условиях.

В связи с этим целью настоящей работы является выбор и обоснование точных универсально применимых уравнений прессования для дисперсных систем на основе известняков, с помощью которых можно будет рассчитать оптимальную величину прессующего давления изделий с заданной (требуемой) плотностью.

Поставленная цель была реализована путем анализа существующих уравнений прессования дисперсных систем и проверки их адекватности применительно к пресс-порошкам известняка, а также усовершенствования приборной базы определения деформативных характеристик прессованных дисперсных систем на их основе.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Изучение формовочных свойств трехфазных дисперсных систем заключается в определении их деформативных характеристик: средней плотности материала, сжатого давлением 1,0 МПа, коэффициента уплотнения, упругого расширения материала после снятия давления, а также нормативной плотности полуфабриката, обеспечивающей получение готовых изделий с требуемыми свойствами и теоретическом расчете давления прессования, гарантирующего получение сырца требуемой плотности.

Сущность вывода аналитических уравнений определения средней плотности материала, сжатого давлением 1,0 МПа и коэффициента уплотнения для широкого интервала давлений прессования (до 60 МПа) на примере порошка известняка представлена на рис. 1.

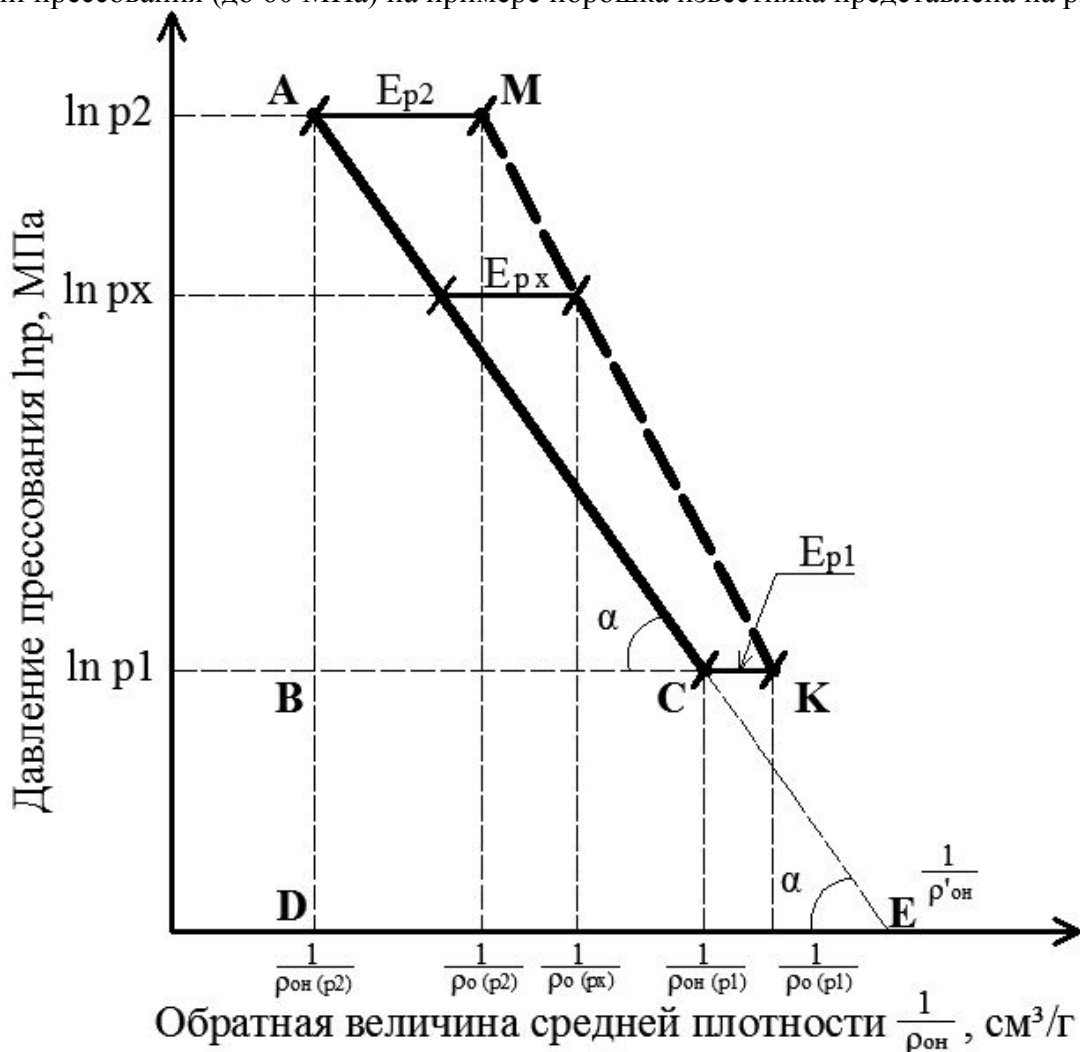


Рис. 1. Графики сжатия (сплошная линия) и уплотнения (пунктир) пресс-порошка известняка

Деформативные характеристики вычисляются следующим образом. Поскольку $C_{уп}$ равен котангенсу угла наклона графика сжатия к оси абсцисс, а $1/\rho'_{он}$ – отрезку, отсекаемому

графиком сжатия на оси ординат, то рассмотрев соответствующие треугольники ΔABC и ΔADE получим:

$$C_{yn} = \operatorname{ctg} \alpha = \frac{BC}{AB} = \frac{1/\rho_{он(p_1)} - 1/\rho_{он(p_2)}}{\ln p_2 - \ln p_1}, \quad (3)$$

$$\frac{1}{\rho'_{он}} = \frac{AB}{AD} = \frac{BC}{DE} = \frac{\ln p_2 - \ln 1}{\ln p_2 - \ln p_1} \left(\frac{1}{\rho_{он(p_1)}} \right) - \frac{\ln p_1 - \ln 1}{\ln p_2 - \ln p_1} \left(\frac{1}{\rho_{он(p_2)}} \right). \quad (4)$$

Значение E_p равно расстоянию по горизонтали между соответствующими графиками сжатия и уплотнения.

Деформативные характеристики дисперсных систем определяются на следующих приборах: дефометр (Д-1) [7], дефометр компрессионный (ДК) [8, 9], ПОФС-1 [6]. Данные устройства, используются для определения деформативных характеристик дисперсных систем в диапазоне давлений от 1 до 35 МПа. Современное технологическое оборудование для полусухого прессования дисперсных систем способно развивать усилие прессования до 3000 кН (удельное давление прессования до 75 МПа).

Для определения деформативных характеристик прессованных дисперсных систем на основе известняков и изучения физико-механических процессов протекающих при давлениях прессования свыше 35 МПа был усовершенствован прибор ДК (рис. 2). Основные технические характеристики прибора приведены в табл. 1.

Таблица 1
Технические характеристики усовершенствованного прибора ДК

Наименование	Площадь рабочего сечения формы, см ²	Величина навески пробы порошка, г	Погрешность измерения деформаций, мм	Масса прибора, г	Габаритные размеры l×b×h, мм
Показатели	40,0	30,0	0,01	3900,0	180×100×180

Усовершенствованный прибор ДК состоит из подставки (1) с пазом (2), в которую устанавливают составную цилиндрическую форму (3). Составная цилиндрическая форма состоит из нескольких соосно установленных колец с внутренним диаметром 71,4 мм и высотой 2 мм каждое, а также нижнего кольца высотой 5 мм. Выполнение формы (3) в виде нескольких колец позволяет измерять величину упругого расширения дисперсной системы после снятия нагрузки без ее выпрессовки из формы. Для фиксации колец формы (3) в соосном положении служат кольцевые выступы и выемки на их торцевых поверхностях, которые обеспечивают свободное перемещение колец в осевом направлении при упругом расширении системы после снятия нагрузки. Уплотнение порошкообразной дисперсной системы в форме осуществляется с помощью плунжера (4), к которому жестко прикреплены 2 индикатора часового типа ИЧ-10 (5, 6) с точностью отсчета 0,01 мм. Ножки индикаторов размещаются на выступах (7, 8) подставки (1). На плунжере (4) установлен полый цилиндр (9). При определении деформативных характеристик пробы материала прибор помещается между плитами гидравлического пресса.

Сущность работы прибора заключается в следующем. Вначале производят установку индикаторов часового типа (ИЧ-10) в нулевое положение. Для этого на поверхность подставки (1) помещают плунжер (4) с двумя прикрепленными к нему индикаторами (5, 6), после чего ослабляют зажимы крепления и перемещением индикаторов в вертикальном направлении добиваются получения на них отсчетов 10,00 по красной шкале. После этого индикаторы закрепляют на штативе. Более точная установка указанного отсчета производится вращением подвижного кольца индикаторов. При такой установке индикаторов обеспечивается измерение деформаций пробы материала в диапазоне,

соответствующем изменению толщины этой пробы от 0 до 10 мм. При необходимости измерения деформаций в другом диапазоне установка и настройка индикаторов производится с помощью предметов тарированной толщины, например, концевых мер, помещаемых между поверхностью выступов подставки и ножками индикаторов.

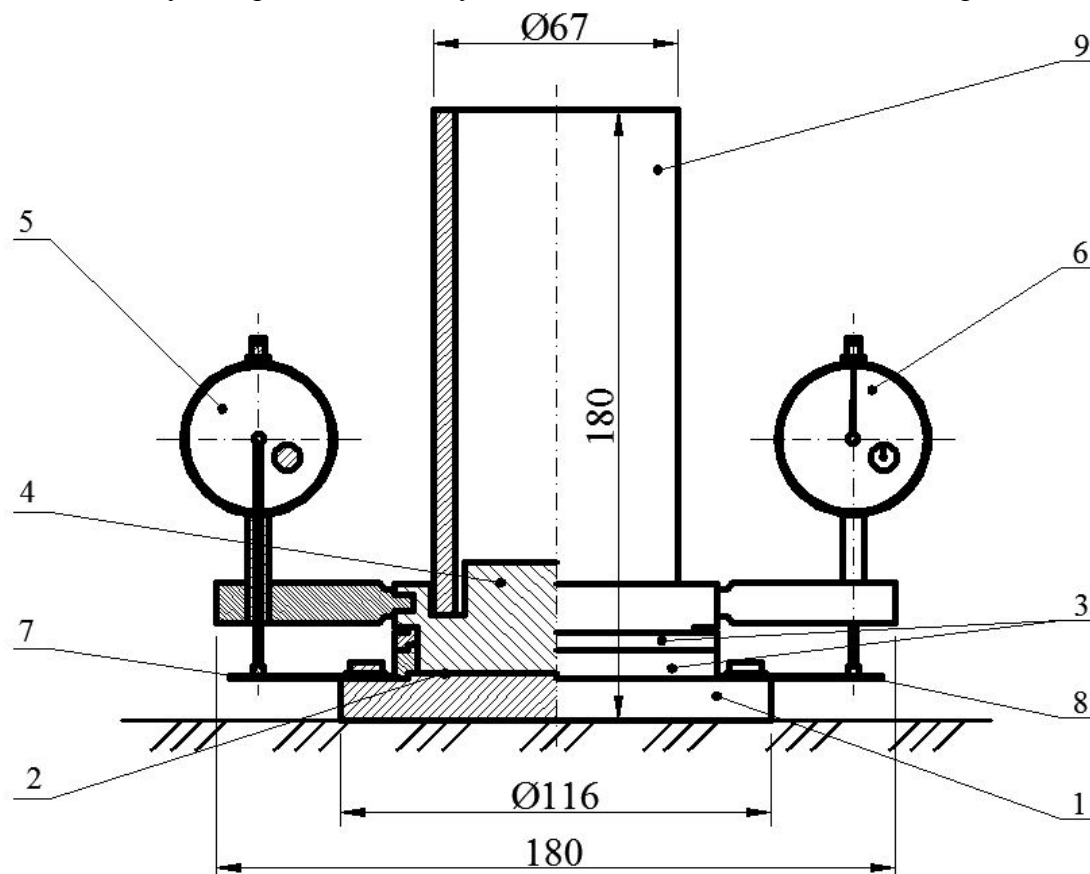


Рис. 2. Схема усовершенствованного прибора ДК

Сущность работы прибора заключается в следующем. Вначале производят установку индикаторов часового типа (ИЧ-10) в нулевое положение. Для этого на поверхность подставки (1) помещают плунжер (4) с двумя прикрепленными к нему индикаторами (5, 6), после чего ослабляют зажимы крепления и перемещением индикаторов в вертикальном направлении добиваются получения на них отсчетов 10,00 по красной шкале. После этого индикаторы закрепляют на штативе. Более точная установка указанного отсчета производится вращением подвижного кольца индикаторов. При такой установке индикаторов обеспечивается измерение деформаций пробы материала в диапазоне, соответствующем изменению толщины этой пробы от 0 до 10 мм. При необходимости измерения деформаций в другом диапазоне установка и настройка индикаторов производится с помощью предметов тарированной толщины, например, концевых мер, помещаемых между поверхностью выступов подставки и ножками индикаторов.

Для испытания от общей массы дисперсной смеси отвешивают навеску массой 30 г, которую равномерно засыпают в цилиндрическую форму (3) прибора. На поверхность пробы устанавливают плунжер (4) с индикаторами. Затем на плунжер (4) помещают полый цилиндр (9), и прибор устанавливают между плитами лабораторного гидравлического пресса с максимальным усилием до 1250 кН. Перед испытанием производят предварительное прессование для удаления воздуха из пробы порошка. Для этого создают сжимающее усилие 20 кН (удельное давление прессования 5 МПа), и осуществляют выдержку пробы при таком давлении в течение 5 – 10 с, после чего давление сбрасывают до нуля.

Далее последовательно (ступенями) создают сжимающее усилие, соответствующее определенному удельному давлению прессования. На каждой ступени давления производят выдержку до полного прекращения увеличения показаний индикаторов, и регистрируют

отсчет по красной шкале индикаторов, соответствующий деформации пробы под давлением. После этого давление сбрасывают до нуля и регистрируют отсчет по индикаторам, соответствующий упругому расширению пробы материала после снятия давления.

По экспериментальным данным полученным на приборе вначале рассчитывают обратные величины средней плотности образцов под нагрузкой и после снятия нагрузки для каждой ступени давления по формулам:

$$\left(\frac{1}{\rho_{он}}\right)_i = k \cdot (h_n)_i, \quad (5)$$

$$\left(\frac{1}{\rho_o}\right)_i = k \cdot h_i, \quad (6)$$

где $(h_n)_i$ и h_i – толщина прессуемой пробы материала соответственно под давлением и после снятия давления, мм; k – коэффициент определяемый по формуле:

$$k = \frac{F}{10 \cdot m \cdot \left(1 - \frac{W}{100}\right)}, \quad (7)$$

где F – площадь рабочего сечения формы, см^2 ; m – масса уплотняемой пробы материала, г; W – влажность пробы, %.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Для определения точности и воспроизводимости результатов на усовершенствованном приборе ДК было выполнено 10 параллельных испытаний порошка известняка, полученного помолотом мраморовидного известняка до удельной поверхности $3000 \text{ см}^2/\text{г}$, влажность порошка составляла 6,3 %. Удельное давление прессования составляло 10 и 30 МПа. Экспериментальные данные представлены в табл. 2.

Таблица 2

Экспериментальные данные по определению деформативных характеристик порошка известняка

№ п/п	Давление прессования, МПа	Толщина прессуемого образца, мм		Обратная величина средней плотности образца, $\text{см}^3/\text{г}$		Деформативные характеристики, $\text{см}^3/\text{г}$		
		под нагрузкой	после снятия нагрузки	под нагрузкой	после снятия нагрузки	коэффициент уплотнения	обратная величина плотности образца, сжатого давлением 1,0 МПа	упругое расширение пробы материала
1.1	10	3,07	3,10	0,4277	0,4319	0,026	0,485	0,006
1.2	30	2,83	2,90	0,3943	0,4040			
2.1	10	3,12	3,15	0,4347	0,4389	0,026	0,492	0,006
2.2	30	2,88	2,95	0,4013	0,4110			
3.1	10	3,11	3,14	0,4333	0,4375	0,028	0,496	0,006
3.2	30	2,85	2,90	0,3971	0,4040			
4.1	10	3,11	3,15	0,4333	0,4389	0,027	0,493	0,006
4.2	30	2,86	2,92	0,3985	0,4068			
5.1	10	3,09	3,12	0,4305	0,4347	0,028	0,493	0,005
5.2	30	2,83	2,88	0,3943	0,4013			
6.1	10	3,14	3,18	0,4375	0,4431	0,025	0,493	0,007
6.2	30	2,90	2,96	0,4040	0,4124			

Продолжение табл.2.

7.1	10	3,09	3,12	0,4305	0,4347	0,024	0,484	0,006
7.2	30	2,86	2,92	0,3985	0,4068			
8.1	10	3,11	3,15	0,4333	0,4389	0,027	0,493	0,006
8.2	30	2,86	2,92	0,3985	0,4068			
9.1	10	3,10	3,13	0,4319	0,4347	0,024	0,485	0,006
9.2	30	2,87	2,93	0,3999	0,4013			
10.1	10	3,09	3,12	0,4305	0,4347	0,028	0,493	0,006
10.2	30	2,83	2,88	0,3943	0,4013			

Статистические характеристики точности и воспроизводимости определения деформативных характеристик известнякового порошка при уровне вероятности 95 % представлены в табл. 3. Расчет числа повторных измерений деформативных характеристик, необходимого для получения относительной погрешности в их определении не более 5%, показал, что для этого достаточно выполнить три параллельных испытания пробы материала на усовершенствованном приборе ДК. Экспериментальные данные подтвердили результаты расчета. По результатам трех параллельных испытаний деформативные характеристики известнякового порошка при уровне вероятности 95 % определяются со следующей погрешностью: $C_{уп.} \pm 0,004 \text{ см}^3/\text{г}$ (относительная погрешность 4,8%); $1/\rho'_{он} \pm 0,009 \text{ см}^3/\text{г}$ (относительная погрешность 2,3 %) и $E_p \pm 0,002 \text{ см}^3/\text{г}$ (относительная погрешность 3,4 %).

Как видно из данных табл. 2 плотность системы в момент сжатия и после снятия нагрузки отличается за счет упругого расширения системы после снятия нагрузки.

Таблица 3

Статистические характеристики точности и воспроизводимости определения деформативных характеристик известнякового порошка на приборе ДК

Статистические характеристики	$C_{уп.}$	$1/\rho'_{он}$	E_p
Среднее значение, $\text{см}^3/\text{г}$	0,02638	0,49077	0,00592
Стандартное отклонение, $\text{см}^3/\text{г}$	$1,48 \cdot 10^{-3}$	$4,21 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-4}$
Коэффициент вариации, %	5,61	0,858	6,792
Средняя квадратичная ошибка среднего значения, $\text{см}^3/\text{г}$	$4,679 \cdot 10^{-4}$	$1,3318 \cdot 10^{-3}$	$1,272 \cdot 10^{-4}$
Абсолютная погрешность, $\text{см}^3/\text{г}$	$8,986 \cdot 10^{-4}$	$1,95 \cdot 10^{-3}$	$5,593 \cdot 10^{-4}$
Относительная погрешность, %	2,1	0,354	0,764

Исходя из того, что в принятом уравнении прессования (1) фигурируют три деформативные характеристики дисперсной системы, для оценки точности и воспроизводимости испытаний известнякового порошка на приборе ДК использовали интегральный показатель – среднюю плотность прессованного образца при давлении 20 МПа. Результаты сравнения расчетных и опытных значений средней плотности представлены на рис. 3.

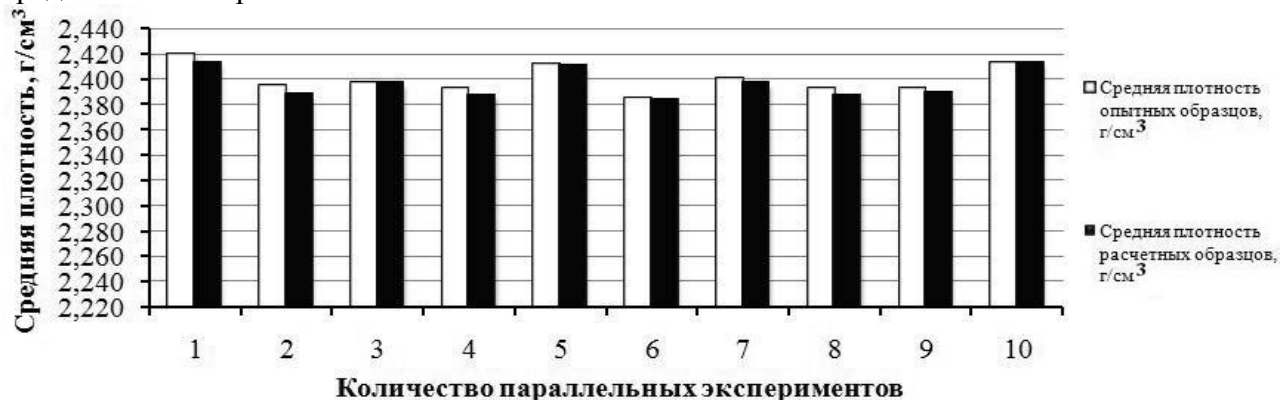


Рис.3. Расчетные и фактические значения средней плотности образцов

Согласно данным, представленным на рис. 3, погрешность в теоретическом расчете средней плотности образцов на основании известных деформативных характеристик дисперсной системы не превышает 0,5 %, в сравнении с фактическим результатом определения средней плотности. В свою очередь изменение значений фактической средней плотности в пределах 10 одинаковых параллельных экспериментах объясняется неравномерностью засыпки и выравнивания пробы материала в форме. Разница между наибольшим и наименьшим фактическими значениями средней плотности образцов составила 1,7 %.

Таким образом, достоверность и точность измерений по разработанной методике вполне достаточны для получения объективных данных о деформативных характеристиках известняковых порошков и могут служить основой для расчета оптимальных режимов прессования сырьевых смесей на их основе. Кроме этого, данная методика позволит оперативно определять деформативные характеристики в производственных условиях и соответственно корректировать режимы прессования сырьевых смесей при получении изделий с требуемыми свойствами.

Выводы

1. Определены уравнения, которые наиболее полно описывают процесс прессования трехфазных дисперсных систем и усовершенствована методика и приборная база определения деформативных характеристик пресс-порошков на основе известняков.

2. Установлено, что погрешность между расчетными и опытными значениями средней плотности образцов, полученных на усовершенствованном приборе ДК при прессовании пресс-порошков известняка, не превышает 0,5 %.

3. Разработанная методика позволяет оперативно и с высокой степенью достоверности определять в производственных условиях деформативные характеристики пресс-порошков на основе известняков, что позволит корректировать и оптимизировать режимы их прессования с учетом получения изделий с требуемыми свойствами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хавкин Л.М. Технология силикатного кирпича / Хавкин Л.М. – М.: Стройиздат, 1982. – 384 с.
2. Юшкевич М.О. Технология керамики / М.О. Юшкевич, М.И. Роговой. – М.: Издательство литературы по строительству, 1969. – 339 с.
3. Карклит А.К. Производство огнеупоров полусухим способом / [Карклит А.К., Ларин А.П., Лосев С.А., Верниковский В.Е]. – М.: Металлургия, 1981. – 367 с.
4. Попильский Р.Я. Прессование порошковых керамических масс / Р.Я. Попильский, Ю.Е. Пивинский. – М.: Металлургия, 1983. – 176 с.
5. Сапожников М.Я. Механическое оборудование для производства строительных материалов и изделий / Сапожников М.Я. – М.: Машгиз, 1962. – 522 с.
6. Белов В.В. Управление структурой и свойствами композиций для изготовления строительных материалов с учетом действия капиллярного сцепления в дисперсных системах: дис. доктора техн. наук: 05.23.05 / Белов В.В. – Тверь, 2003. – 338 с.
7. Берней И.И. Технология асбестоцементных изделий / И.И. Берней, В.М. Колбасов. – М.: Стройиздат, 1985. – 400 с.
8. А.с. СССР № 1430834. Устройство для определения формовочных свойств керамических порошков / И.И. Берней, В.В. Белов. – Приор. от 25.07.86 г. Оpubл. в Б.И. – №38. – 1988.
9. А.с. СССР № 1627891. Способ определения формовочных свойств керамических порошков / И.И. Берней, В.В. Белов. – Приор. от 10.10.88 г. Оpubл. Б.И. – №6. – 1991.

УДК: 666.9: 691.511: 691.316

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА СКОРОСТЬ ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ КАРБОНИЗАЦИИ ИЗВЕСТКОВОГО КАМНЯ ПОЛУСУХОГО ПРЕССОВАНИЯ

Любомирский Н.В., Сироджа И.Б.

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

Исследовано влияние температуры на скорость карбонизации известкового камня полусухого прессования при его принудительной карбонизации в зависимости от различных технологических факторов. Показано, что максимальная скорость карбонизации достигается при температурах до 293 К, с повышением температуры скорость реакции карбонизации снижается. Установлено, что для управления скоростью процесса взаимодействия извести и углекислого газа в карбонизационных реакторах необходимо предусматривать низкотемпературные зоны и отвод выделяющейся в результате химической реакции карбонизации воды.

Строительные материалы, известь, углекислый газ, принудительная карбонизация, температура, полусухое прессования

ВВЕДЕНИЕ

Главным звеном технико-экономической политики сбережения ресурсов и насыщения рынка строительной продукцией может стать разработка и внедрение экономичных материалов и ресурсосберегающих технологий путем создания новых нетрадиционных направлений получения строительных композитов, способных твердеть и приобретать требуемые свойства, например, за счет поглощения углекислого газа. К таким материалам можно отнести строительные материалы и изделия на основе извести.

Научные исследования и практика последних лет убедительно свидетельствуют о том, что эффективным способом направленного управления свойствами искусственных каменных материалов является способ контактного формования начальной структуры с помощью полусухого прессования.

Решить проблему медленной карбонизации извести в обычных условиях, обусловленных низкой концентрацией CO_2 в атмосфере, можно за счет принудительной карбонизацией ее углекислым газом, образующимся в процессе обжига извести. Принцип вторичного использования углекислого газа от обжига известняков позволит создать замкнутую ресурсосберегающую технологию производства карбонизированных изделий на основе извести, работающий в автономном режиме без дополнительных энергетических и ресурсных затрат.

На сегодняшний день вопросы получения материалов полусухого прессования на основе извести карбонизационного твердения не имеют научного обоснования, отсутствуют системные исследования влияния различных технологических факторов на процесс карбонизации известкового вяжущего.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Известь относится к группе вяжущих веществ, твердеющих на основе физических явлений, кристаллизация которых происходит вследствие испарения воды затворения и лишь позже в процессе твердения принимает участие и карбонизация [1]. Реакция насыщения углекислотой известковых растворов – довольно сложный механизм, состоящий из диффузии углекислого газа через пористую структуру и его растворение в воде капиллярных пор, взаимодействия с раствором гидроксида кальция, в результате чего выделяются кристаллы карбоната кальция.

Многими учеными периоду карбонизационного твердения известковых вяжущих отводилась второстепенная роль, главным образом, из-за длительного времени перехода извести в карбонат кальция в естественных условиях. Тем не менее, реакция насыщения углекислотой гидроксида кальция в растворах крайне важна с технической точки зрения,

поскольку это реакция, в зависимости от связующего состава, улучшает механические свойства и, следовательно, структуру материала.

Анализ научных работ многих ученых [2 – 10] и собственных исследований [11 – 16] позволили заключить, что протекание химической реакции карбонизации известки зависит от множества технологических факторов: влажности и водосодержания известкового теста, температуры карбонизации, концентрации и давления углекислого газа, дисперсности частиц известки, времени карбонизации и т.д. Некоторые ученые, изучая кинетику карбонизации известки [17, 18], пришли к выводам, что для ускорения процесса карбонизации необходима некоторая подсушка изделий. Однако, влияние повышенной температуры на процесс принудительной карбонизации известкового вяжущего не изучен.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

Целью настоящей статьи является установление закономерностей влияния температуры на скорость карбонизации известкового камня полусухого прессования при его принудительной карбонизации в условиях повышенной концентрации CO_2 и в зависимости от различных технологических факторов.

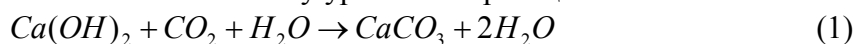
Поставленная цель была реализована путем проведения исследований кинетики карбонизации известковых образцов полусухого прессования в зависимости от их начального водосодержания, давления и температуры.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Кинетику карбонизации известковых образцов изучали по специально разработанной методике статическим методом в замкнутой системе (рис. 1).

Принцип работы установки основан на регистрации изменения массы известковых образцов при взаимодействии его с углекислым газом при заданных давлении CO_2 и температуре. Повышенное давление создается путем регулирования редуктора на баллоне с CO_2 . Пониженное давление создается с помощью вакуум-насоса. Установленное давление в реакторе (камере карбонизации) поддерживается с помощью следящего мановакуумметра, который при изменении давления в камере подает соответствующий сигнал, в случае поддержания повышенных давлений на открытие электрического клапана, а в случае проведения опыта в условиях разрежения на запуск вакуум-насоса. Реакционная камера имеет водяную рубашку для поддержания в ней требуемой температуры опыта. Буферная емкость также имеет водяную рубашку и предназначена для конденсации в ней водяного пара при просасывании сквозь реактор CO_2 . Таким образом, система является замкнутой. Регистрация изменения массы системы осуществляется по сигналам электронных весов специально разработанной компьютерной программой, которая строит соответствующие графики кинетики карбонизации известкового теста.

Степень превращения $Ca(OH)_2$ в $CaCO_3$, или степень карбонизации известки определяли по отношению массы гидроксида кальция к теоретическому приросту массы $Ca(OH)_2$ в процессе перехода его в $CaCO_3$ согласно химическому уравнению реакции:



по формуле:

$$\alpha = \frac{m_{Ca(OH)_2} + \Delta m}{1,351 \cdot m_{Ca(OH)_2}} \times 100 \%, \quad (2)$$

где $m_{Ca(OH)_2}$ – масса $Ca(OH)_2$ в образце, г;

Δm – приращение массы системы в любой момент времени карбонизации, г;

1,351 – коэффициент, учитывающий изменение массы системы при 100 % превращении $Ca(OH)_2$ в $CaCO_3$.

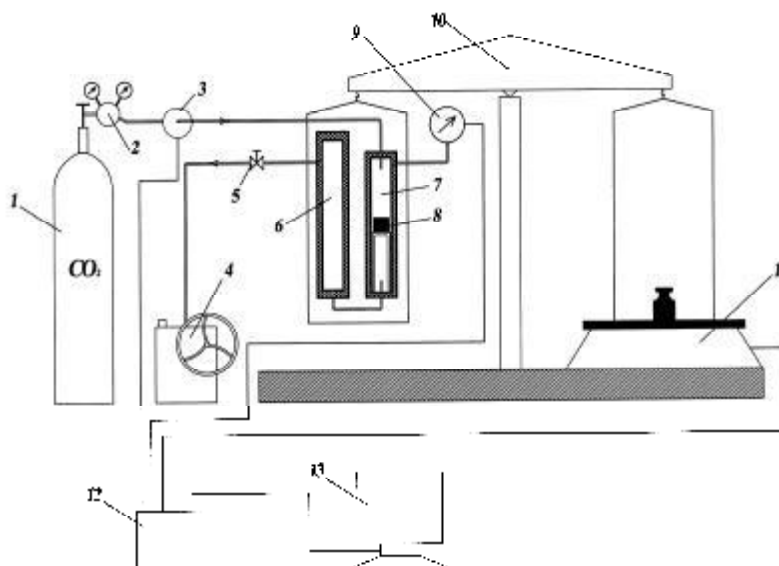


Рис. 1. Схема установки для изучения кинетики карбонизации извести:

1 – газовый баллон с CO₂; 2 – редуктор; 3 – электрический клапан; 4 – вакуумный насос; 5 – кран; 6 – буферная емкость; 7 – реактор; 8 – опытный образец; 9 – следящий мановакуумметр; 10 – плечевые весы; 11 – электронные весы; 12 – блок управления; 13 – компьютер

Опыты проводили на известковых образцах-цилиндрах полусухого прессования диаметром 30 мм. Для установления массы и формовочного давления прессования образцов, при которых можно свести к минимуму погрешности проведения испытаний от данных факторов, были проведены предварительные опыты, в результате которых было установлено, что наибольшая схожесть результатов наблюдается на образцах массой 20 г, полученных прессованием с усилием 10 МПа.

Кинетику карбонизации образцов изучали в среде 100 % концентрации углекислого газа при температуре 293 – 333 К в условиях разрежения и избыточных давлений в интервале давлений CO₂ от 0,02 МПа до 0,2 МПа и различном начальном водосодержании известкового вяжущего, изменяемым в пределах от 1 до 25 % мас. Варьируемые факторы были выбраны с учетом теоретических исследований процесса принудительной карбонизации извести [12, 13, 19].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Данные влияния температуры на изменение степени карбонизации образцов спрессованного известкового вяжущего в зависимости от их начального водосодержания и давления CO₂ в камере карбонизации показаны на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что показатели степени карбонизации с увеличением температуры уменьшаются. С увеличением начального водосодержания известковых образцов и давления углекислого газа влияние температуры на величину показателя б становится менее заметным (см. рис. 2, III в) и III г)). С повышением давления CO₂ влияние температуры на процесс карбонизации выражается слабее, кривые степени превращения Ca(OH)₂ в CaCO₃ при температурах 293 – 313 К и 333 К на начальных этапах начинают совпадать, причем с увеличением давления этот период увеличивается. Так если у образцов с начальным водосодержанием 10 % мас. при 0,02 МПа этот период отсутствует, то при давлении 0,05 и 0,08 МПа он составляет 400 с и 1000 с соответственно, а при давлении 0,1 МПа кривые степени карбонизации практически совпадают во всем исследуемом интервале времени (3600 с), а при дальнейшем увеличении давления выше атмосферного влияние температуры становится более заметным.

С увеличением давления CO₂ в камере карбонизации выше атмосферного наблюдается значительное увеличение скорости превращения Ca(OH)₂ в CaCO₃ в первые 100 с

принудительной карбонизации. Графики скорости карбонизации опытных известковых образцов в зависимости от исследуемых факторов представлены на рис. 3.

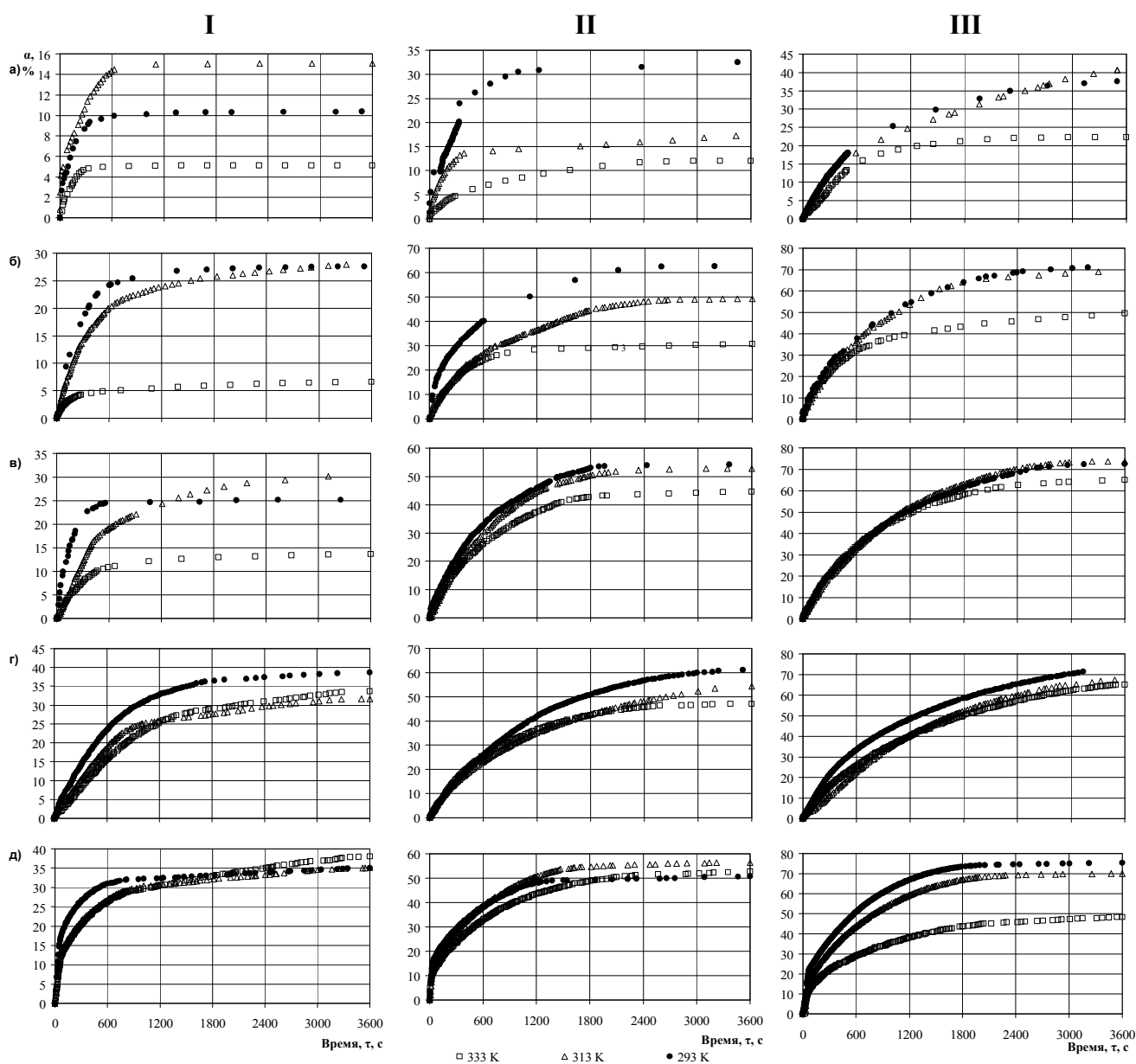


Рис. 2. Влияние температуры на изменение показателя степени карбонизации известковых образцов в зависимости от водосодержания, % мас.: I – 1; II – 5; III – 10 и давления углекислого газа, МПа: а) – 0,02; б) – 0,05; в) – 0,08; г) – 0,1; д) – 0,2

Данные рис. 3 показывают, что процесс карбонизации известковых образцов полусухого прессования соответствует мгновенному вступлению извести в химическое взаимодействие с углекислым газом, после чего тотчас следует период снижения и стабилизации скорости карбонизации, причем как сами показатели скорости карбонизации, так и характер ее изменения зависят от температуры. Скорость карбонизации снижается с увеличением температуры в независимости от других исследуемых технологических факторов. Увеличение начального водосодержания опытных образцов с 1 до 5 % мас. в интервале давлений до 0,1 МПа способствует ускорению процесса карбонизации, а при дальнейшем увеличении водосодержания до 10 % мас. скорость взаимодействия извести с CO_2 снижается. При увеличении давления выше 0,1 МПа скорость карбонизации извести по сравнению с карбонизацией при давлении 0,1 МПа увеличивается в 2 – 3 раза, при этом на графиках ярко выражен, так называемый, индукционный период достижения максимальных значений скорости карбонизации известковых образцов. С увеличением начального

водосодержания опытных образцов продолжительность этого периода увеличивается. Так при начальном водосодержании 1 % мас. время достижения максимума скорости достигается в течении 3 – 15 с, при 5 % мас. – 6 – 30 с, а при 10 % мас. – в среднем в течении 50 с. Наличие этапа постепенного роста скорости карбонизации может быть объяснен тем, что в условиях повышенных давлений увеличивается количество CO_2 , адсорбированного на поверхностях частиц извести, что вызывает резкое увеличение скорости взаимодействия $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с CO_2 . Соответственно, вступление в химическое взаимодействие большего количества извести вызывает мгновенное образование в системе большого количества воды, образующей барьерную пленку на поверхности частиц извести, препятствующей свободному доступу CO_2 к $\text{Ca}(\text{OH})_2$. С течением времени диффузия CO_2 уменьшается из-за образования на поверхности частиц извести карбонизированного слоя и скорость карбонизации, достигнув своего максимума, начинает постепенно снижаться.

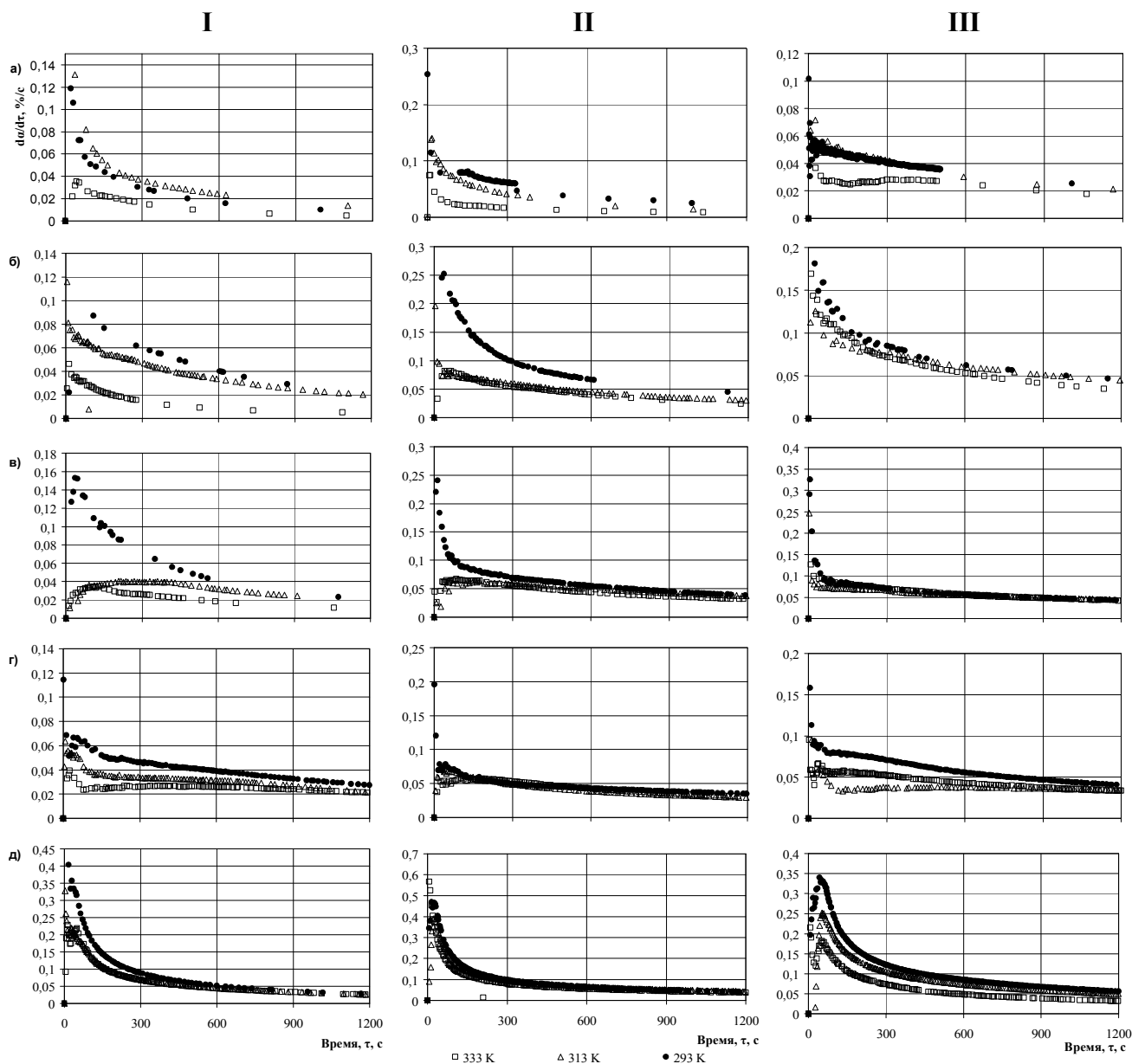
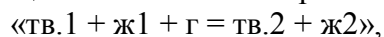


Рис. 3. Изменение скорости карбонизации известковых образцов в зависимости от температуры, водосодержания и давления углекислого газа: I, II, III, а), б), в), г) и д) те же, что и на рис. 2

Карбонизация гидроксида кальция относится к гетерогенным превращениям типа



где «тв.1» – гидроксид кальция; «тв.2» – карбонат кальция; «ж1» – вода; «ж2» – насыщенный раствор карбоната кальция, гидрокарбоната кальция и гидроксида кальция в воде.

Слой воды, а точнее слой жидкой фазы, являющийся насыщенным водным раствором карбоната и гидроксида кальция можно рассматривать как барьерное, но проницаемое препятствие на поверхности карбонизируемых кристаллов $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Кроме того, вид кинетических кривых дает основание отнести процесс либо к реакциям, кинетика которых подчиняется закономерностям, характерным для мгновенного вступления в реакцию всей поверхности с последующим сокращением объема твердого реагента, либо к топохимическим превращениям.

Основываясь на данных рассуждениях, при обработке кинетических кривых были использованы три кинетических уравнения [20, 21]: уравнение Аврами и Ерофеева, уравнение сокращающегося объема и уравнение сокращающейся площади.

Обработка первичного массива опытных данных показала, что несколько лучшее согласие с результатами измерений дает уравнение Аврами – Ерофеева, для которого коэффициент корреляции составил 0,9977.

Взаимодействие гидроксида кальция с диоксидом углерода является процессом, развитие которого при повышенных температурах может быть осложнено дегидратацией кристаллогидрата гидроксида кальция, который будет образовываться при затворении гашеной извести водой. Это означает, что при повышенных температурах при наличии температурного градиента одновременно с карбонизацией гидрата гидроксида кальция будет происходить его дегидратация, сопровождающаяся переносом водяного пара в холодную часть системы.

Исследование влияние температуры на скорость карбонизации известкового вяжущего показало, что при заданных значениях начального водосодержания и давления скорость реакции слабо зависит от температуры, что может означать близость к нулю кажущейся энергии активации процесса. Это вполне объяснимо, поскольку известно, что реакции нейтрализации, к которым может быть отнесено превращение $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в CaCO_3 , протекают как безактивационные процессы, скорость реакции которых лимитируется только транспортом реагентов к зоне взаимодействия.

Оценку кажущейся энергии активации осуществляли с использованием традиционного приема, который заключается в определении температурной зависимости максимальной скорости процесса [20, 22]. При мгновенном вступлении в реакцию всей поверхности максимальная скорость отвечает тангенсу угла наклона кривых $\alpha = f(\tau)$ на начальной стадии.

В качестве примера на рис. 4 приведены фрагменты кинетической кривой карбонизации известкового вяжущего с начальным водосодержанием 10 % мас., характеризующей развитие процесса в течение 60 с при различных температурах и давлениях (в условиях разряжения, атмосферном и избыточном давлении). На рис. 5 представлены зависимости логарифма скорости от обратной температуры при различных давлениях углекислого газа и начального водосодержания известковых образцов.

Как видно, скорость реакции уменьшается с повышением температуры, т.е., величина кажущейся энергии активации будет отрицательной. Можно полагать, что в рассматриваемом случае скорость процесса зависит только от доставки CO_2 к поверхности $\text{Ca}(\text{OH})_2$, не защищенной присутствием барьерного слоя. При повышении температуры процесс доставки CO_2 может осложняться за счет преодоления дополнительного препятствия в виде повышающегося с ростом температуры давления водяного пара. Кроме того с повышением температуры

снижается растворение $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и CO_2 в воде, что и лимитирует скорость процесса. Вполне очевидно, что изменяя геометрию реактора или устраивая в нем зоны с пониженной температуры можно управлять процессом отвода воды из реагирующей системы и тем самым управлять скоростью карбонизации $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Соответствующие данные констант скорости реакции начальной стадии карбонизации ($\tau = 300$ с) при температуре 293 и 333 К и расчетные значения кажущейся энергии активации приведены в табл. 1.

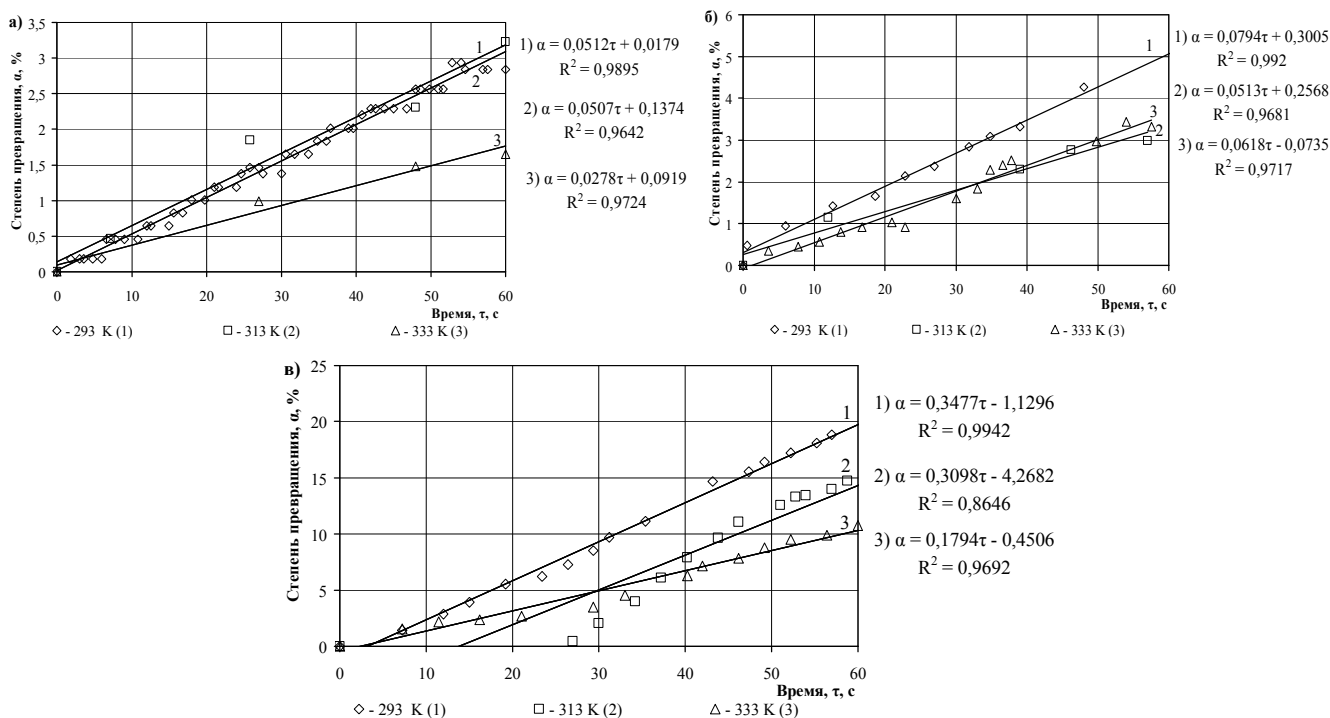


Рис. 4. Начальные участки кинетических кривых, характеризующих развитие процесса при различных температурах и давлении, МПа: а) – 0,02; б) – 0,1; в) – 0,2

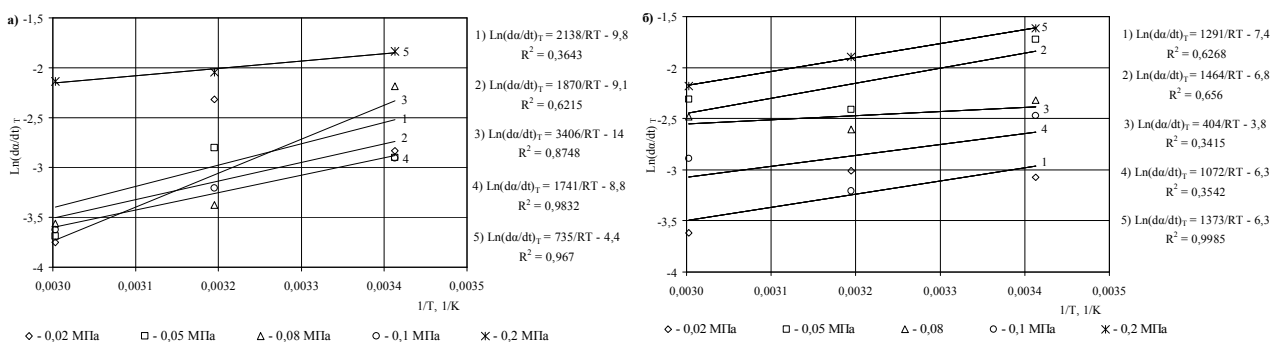


Рис. 5. Температурная зависимость скорости карбонизации известкового вяжущего с водосодержанием 1 % мас. (а) и 10 % мас. (б) при различных давлениях углекислого газа

Расчетные значения кажущейся энергии активации свидетельствует о высокой реакционной способности известкового вяжущего к CO_2 и подтверждают, что лимитирующим фактором скорости процесса является диффузия CO_2 к зернам $\text{Ca}(\text{OH})_2$. С увеличением водосодержания и давления значения E_a уменьшаются.

Таблица 1

Константы скорости и расчетные значения кажущейся энергии активации карбонизации известковых образцов

$$E_a = \frac{R \cdot T_1 \cdot T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{K_2}{K_1} \quad [23]$$

Давление CO ₂ , МПа	Начальное водосодержание известковых образцов, % мас.	Константы скорости реакции при температуре, К		Кажущаяся энергия активации E _a , кДж/моль
		293, К ₁	333, К ₂	
0,02	1	0,03052	0,01716	-11,68
	5	0,0618	0,0165	-26,81
	10	0,0410	0,0280	-7,60
0,05	1	0,0619	0,0155	-28,14
	5	0,0992	0,0554	-11,83
	10	0,0850	0,0715	-3,50
0,08	1	0,0855	0,0261	-24,05
	5	0,0689	0,0554	-4,41
	10	0,0718	0,0689	-0,82
0,1	1	0,0466	0,0260	-11,85
	5	0,0495	0,0531	1,43
	10	0,0704	0,0524	-5,98
0,2	1	0,0880	0,0677	-5,31
	5	0,0973	0,0803	-3,89
	10	0,1223	0,0741	-10,16

Выводы

1. Установлено, что процесс принудительной карбонизации гидроксида кальция отвечает случаю мгновенного вступления в реакцию всей поверхности реагента без образования барьерного слоя продукта реакции в начальный период.

2. Доказано, что температура, как и давление CO₂ не оказывают определяющего влияния на показатель степени карбонизации извести при постоянном значении одного из факторов, но являются важными взаимно дополняющими друг друга параметрами, регулирующими скорость превращения Ca(OH)₂ в CaCO₃. Важнейшим фактором, влияющим на степень карбонизации извести, является его начальное водосодержание системы.

3. Показано, что максимальная скорость карбонизации может быть достигнута при температурах до 293 К, лимитирующим фактором при этом является как растворение с последующей диффузией CO₂ к поверхности твердого реагента, так и растворение Ca(OH)₂ и диффузией гидроксильного иона к поверхности контакта с газовой фазой. Установлено, что для управления скоростью процесса карбонизации нужно обеспечить отвод воды, путем устройства низкотемпературной зоны в карбонизационной камере.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сычев М.М. Систематизация вяжущих веществ / Сычев М.М. // Журнал прикладной химии. – 1970. – № 3. – С. 528 – 533.
2. Зацепин К.С. Известковые карбонизированные строительные материалы / Зацепин К.С. // Сборн. материалов Московского науч.-технич. совещания по жил.-гражд. строит., строит. материалам и проектно-изыскат. работам. – М: Московская правда. – 1952. – Т. 2. – С. 283 – 290.
3. Михайлов Н.Н. Искусственная карбонизация как способ повышения активности доломитового вяжущего / Михайлов Н.Н., Кузнецов А.М. // Строительные материалы. – 1960. – № 9. – С. 28 – 30.

4. Воробьев А.А. Влияние карбонизации на физико-механические свойства автоклавного газобетона с тонкомолотыми карбонатными добавками / Воробьев А.А. // Строительные материалы. – 1971. – №2. – С. 32 – 33.
5. Zalmanoff N. Carbonation of Lime Putties To Produce High Grade Building / N. Zalmanoff // Rock Products. – 1956. – August. – P. 182 – 186.
6. Zalmanoff N. Carbonation of Lime Putties To Produce High Grade Building / N. Zalmanoff // Rock Products. – 1956. – September. – P. 84 – 90.
7. Matsuda O. Experimental study of the manufacture of building materials by carbonation of slaked lime / Matsuda O., Yamada H. // Sekko to sekkai = Gypsum & Lime. – 1973. – № 125. – P. 8 – 17.
8. Aono T. Studies on the reactions between gas and solid, part II: absorption of CO₂ by CaO and Ca(OH)₂ / Aono T. // Bulletin of the Chemical Society of Japan. – 1931. – № 6. – P. 319 – 324.
9. Cizer O. Crystal morphology of precipitated calcite crystallized from accelerated carbonation of lime binders. [Электронный ресурс] / Cizer O., K. Van Balen, D. Van Gemert // Forum italiano calce. – 2011. – <http://www.iscowa.org/>
10. Cultrone G. Forced and natural carbonation of lime-based mortars with and without additives: Mineralogical and textural / Cultrone G., Sebastián E., Ortega Huertas M. // Cement and Concrete Research. – 2005. – Volume 16. Issue 12. – P. 278 – 289.
11. Любомирский Н.В. Формирование структуры известкового теста при твердении в среде углекислого газа / Любомирский Н.В., Локтионова Т.А. // Motrol. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Simferopol-Lublin. – 2009. – Vol. 11A. – P. 239 – 246.
12. Любомирский Н.В. Термодинамическое обоснование искусственной карбонизации известки / Любомирский Н.В. // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: Зовнішрекламсервіс. – 2010. – вип. № 38. – С. 426 – 430.
13. Любомирский Н.В. Особенности карбонизации известковых вяжущих материалов / Любомирский Н.В. // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – Макіївка: ДонНАБА. – 2010. – Вип. 2010-5(85). – С. 121 – 126.
14. Любомирский Н.В. Влияние качества известки и концентрации углекислого газа на физико-механические свойства искусственно карбонизированного камня / Любомирский Н.В., Бахтин А.С., бахтина Т.А., Дзелял А.Э. // Motrol. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Lublin. – 2011. – Vol. 13C. – P. 173 – 182.
15. Lyubomirsky N. The resource saving technology for obtaining facing artificially carbonated products and economic efficiency of their production / [N. Lyubomirsky, T. Bakhtina, A. Bakhtin, D. Vorobiev, A. Jalyal] // Energy-saving and Ecological Materials, Installations and Technology in Construction. – Biala Podlaska: Wydawnictwo PSW JPII. – 2012. – P. 115 – 122.
16. Любомирский Н.В. Формирование прочностных свойств материалов на основе известково-известняковых композиций карбонизационного типа твердения / Любомирский Н.В., Бахтин А.С., Дзелял А.Э. // Motrol. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Lublin – Pzeszow. – 2013. – Vol. 15, № 5. – P. 23 – 30.
17. Розенфельд Л.М. Исследования пенокарбоната / Розенфельд М.Л. – М.: Госстройиздат, 1952. – 52 с.
18. Силаенков Е.С. Влияние карбонизации на некоторые свойства автоклавных бетонов / Силаенков Е.С., Тихомиров Г.В. // Строительные материалы. – 1961. – №4. – С. 30 – 33.
19. Любомирский Н.В. Современное состояние исследований искусственной карбонизации известковых систем / Любомирский Н.В., Воробьев Д.М. // Motrol. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Lublin. – 2011. – Vol. 13C. – P. 165 – 172.
20. Стромберг А.Г. Физическая химия / Стромберг А.Г., Семченко Д.П. – М.: Высшая школа, 2001. – 527 с.
21. Эмануэль Н.М. Курс химической кинетики / Эмануэль Н.М., Кнорре Д.Г. – М.: Высшая школа, 1984. – 463 с.
22. Дельмон Б. Кинетика гетерогенных реакций / Дельмон Б. – М.: Мир, 1972. – 553 с.
23. Кузнецова Т.В. Физическая химия вяжущих материалов / Кузнецова Т.В., Кудряшов И.В., Тимашев В.В. – М.: Высш. школа, 1989. – 384 с.

ВЛИЯНИЕ ВИДА КАРБОНАТНЫХ ОТХОДОВ НА ПРОЧНОСТЬ ШЛАКОЩЕЛОЧНОГО БЕТОНА НА ОСНОВЕ ЖИДКОГО СТЕКЛА С СИЛИКАТНЫМ МОДУЛЕМ 1,5...1,7 ПОСЛЕ ТВО

Свищ И.С., Носатова Е.В.

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

В статье рассматривается влияние карбонатных отходов, как добавки в шлак при совместном и раздельном помоле, а также влияние наличия пылевидной фракции в мелком заполнителе на прочность шлакощелочного бетона, изготовленного по технологии вибропрессования после ТВО, в возрасте 28 суток твердения на воздухе и в воде.

Жидкое стекло, доменный гранулированный шлак, шлакощелочной бетон, карбонатные отходы, добавка, помол, совместный, раздельный, пыль, песок, плотность, образцы, прочность

ВВЕДЕНИЕ

Анализ последствий возрастающей антропогенной нагрузки на окружающую среду в конце XX века привел к пересмотру стратегии развития земной цивилизации. На смену безграничному научно-техническому прогрессу была воздвигнута концепция устойчивого развития и экологического баланса, основные критерии - ограничение потребления природных ресурсов и защита среды обитания, которые стали закладываться в основу национальных экономических программ многих стран, в т.ч. и Украины. Ставится задача - обеспечить рациональное использование минеральных природных ресурсов и вовлечение в производство техногенных отходов различных отраслей промышленности.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Самыми многотоннажными отходами являются металлургические шлаки и топливные золошлаковые отходы энергетики. Вопросам разработки использования этих отходов в производстве различных материалов посвящено весьма большое количество исследований. Эффективное применение нашли металлургические шлаки в производстве вяжущих, заполнителей, бетонов, шлаковой ваты, литых материалов, шлакоситаллов и других материалов. Свойства шлакощелочных вяжущих веществ, а именно набор прочности, скорость гидратации, твердение композиций зависят от химико-минералогического и фазового состава шлака, а так же от природы щелочного компонента [1]. Рассматривая химико-минералогический состав портландцемента и шлакощелочного вяжущего вещества, в качестве аналога силикатной составляющей портландцемента C_2S и C_3S , содержание которой в нем превышает 70%, может быть принят (с определенной степенью приближения) силикат натрия – растворимое стекло [2]. Важной зависимостью для шлакощелочного вяжущего вещества является связь технологических (Р/Ш, сроки схватывания) и механических свойств (предел прочности при сжатии и изгибе). На данный момент существует широкая база экспериментальных данных о свойствах разнообразных шлакощелочных бетонов на основе мета и дисиликатов натрия. Наиболее перспективной областью исследования является шлакощелочной бетон на отходах камнепиления известняка ракушечника Первомайского карьера на жидком стекле с $M_c=1,5-1,7$. 70% всего объема материала занимают отходы производств. Вяжущее вещество – тонкомолотый доменный гранулированный шлак, отход металлургического производства; отход белых известняков Крымского региона как добавка при совместном помоле при изготовлении вяжущего. Отход камнепиления известняка ракушечника в виде песка и щебня, как заполнители для бетона.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

Целью данной работы является оценка влияния карбонатных отходов, как добавки в шлак при совместном и раздельном помоле, а также наличия пылевидной фракции в мелком

заполнителе на прочность шлакощелочного бетона, изготовленного по технологии вибропрессования.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- оценка влияния отходов камнепечения белого известняка и желтого известняка-ракушечника как добавки в шлак при совместном и раздельном помоле на прочность шлакощелочного бетона после ТВО;
- оценка влияния отходов камнепечения белого известняка и желтого известняка-ракушечника как добавки в шлак при совместном и раздельном помоле на прочность шлакощелочного бетона при твердении в течении 28 сут в воздушных условиях;
- оценка влияния отходов камнепечения белого известняка и желтого известняка-ракушечника как добавки в шлак при совместном и раздельном помоле на прочность шлакощелочного бетона при твердении в течении 28 сут в водной среде;
- оценка влияния наличия пылевидной фракции в мелком заполнителе на прочность шлакощелочного бетона, изготовленного по технологии вибропрессования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве основного состава бетона выбран оптимальный состав по результатам проведения оценочного ряда матриц, в которых исследовались зависимости прочности на сжатие, после тепло-влажностной обработки по режиму (2+3,5+4,5), при температуре изотермического прогрева $t = 70^{\circ}\text{C}$, плотности бетона и однородности поверхности при варьировании таких факторов, как количество щебня и шлака, % содержание добавки в шлаке. Основной состав в натуральных величинах имеет вид: Щ = 850 кг/м³; П = 771 кг/м³; Ш = 513 кг/м³; Раствор жидкого стекла Ж_{ст} = 231 л, плотность жидкого стекла $\rho_{\text{ж.ст.}} = 1,15 \text{ г/см}^3$.

В исследованиях оценивалось влияние отходов камнепечения белого известняка и желтого известняка-ракушечника, как добавки в шлак при совместном и раздельном помоле на прочность бетона после ТВО и в возрасте 28 суток твердения в воздушно-влажностных условиях и в водной среде. А также влияние наличия пыли в мелком заполнителе для данного вида бетона на прочностные показатели. По каждому составу было изготовлено по 3 образца цилиндра диаметром 7 см для определения прочности на сжатие после ТВО и в 28 суточном возрасте твердения в воздушно-влажностных условиях и в воде. Также по всем образцам определялась плотность бетона.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Данные по плотности и прочности, образцов цилиндров диаметром 7 см после ТВО и в 28 суточном возрасте твердения в воздушно-влажностных условиях и в воде, а также показатели факторов влияния представлены в табл. 1. Прочность образцов рассчитывалась в соответствии с рекомендациями ДСТУ БВ.2.7-223: 2009.

Таблица 1

Сводная таблица данных по эксперименту

№ состава	Факторы влияния			$\rho_{\text{ср}}$ после формов. кг/м ³	$\rho_{\text{ср}}$ после ТВО кг/м ³	$\rho_{\text{ср}}$ в возр. 28сут. кг/м ³	$\rho_{\text{ср}}$ в возр. 28сут. в воде кг/м ³	сред. прочн. на сжатие. после ТВО, МПа	сред. прочн. на сжатие. в возр. 28сут. МПа	сред. прочн. на сжатие. в возр. 28сут. в воде МПа
	вид добавки в шлаке	способ помола	наличие пыли							
1	-	-	Есть	2,19	2,16	2,23	2,24	29,6	29,8	31,3
2	-	-	Нет	2,18	2,21	2,16	2,16	33,3	28,9	24,4
3	БИ	С	Есть	2,24	2,19	2,22	2,25	20,0	25,4	24,9
4	БИ	С	Нет	2,21	2,19	2,19	2,22	20,1	23,5	19,0
5	ЖИ	С	Есть	2,24	2,24	2,21	2,25	22,3	23,8	23,6
6	ЖИ	С	Нет	2,23	2,23	2,19	2,24	23,6	18,9	25,8

Продолжение табл.1

7	БИ	Р	Есть	2,18	2,20	2,20	2,15	25,6	25,7	16,8
8	БИ	Р	Нет	2,16	2,12	2,17	2,14	23,0	26,2	20,5
9	ЖИ	Р	Есть	2,14	2,14	2,17	2,10	22,8	22,3	13,6
10	ЖИ	Р	Нет	2,16	2,20	2,14	2,12	25,5	26,3	17,1

Примечание: БИ – белый известняк в количестве 30% от массы вяжущего; ЖИ – желтый известняк в количестве 30% от массы вяжущего; С – совместный помол шлака с добавкой известняка; Р – раздельный помол шлака с добавкой известняка.

График зависимости прочности на сжатие от различных составов, в зависимости от факторов влияния (добавка, помол, пыль) показан на рис. 1.

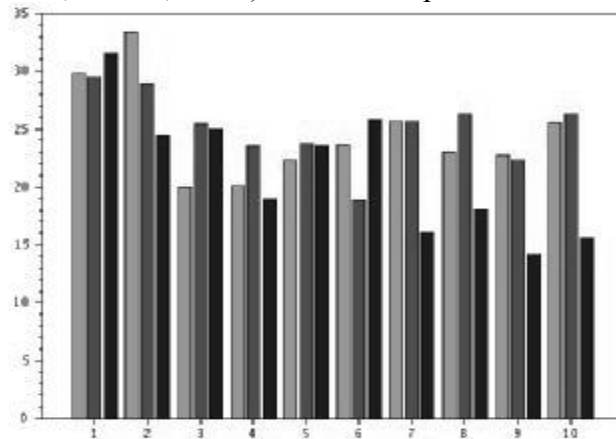


Рис.1. Зависимость прочности на сжатие (МПа) от различных составов, в зависимости от факторов влияния (добавка, помол, пыль) после ТВО, в возрасте 28 сут твердения в воздушно-влажных условиях и в водной среде

Каждому опыту соответствует группа из трех прямоугольников в гистограмме, показывающие прочность на сжатие: первый - после ТВО, второй - соответственно в 28 суточном возрасте твердения в воздушно-влажных условиях и третий - в возрасте 28 суток в воде.

Как видно на рис. 1, прочность на сжатие для составов на чистом шлаке выше, чем с добавкой, особенно в составе без пыли и сразу после ТВО. Максимальное значение составило 33 МПа. Однако при дальнейшем твердении наблюдается обратная ситуация. Наличие пылевидной фракции в мелком заполнителе положительно влияет на прочность бетона у образцов, твердеющих 28 суток в воздушно-влажных условиях. Изменение прочностных характеристик образцов с введением белого или желтого известняка в виде добавки не существенно. Прочность образцов в среднем 20 - 25 МПа. Только условие раздельного помола существенно понижает прочность образцов в возрасте 28 суток в водной среде. Это объясняется тем, что известняк плохо взаимодействует со шлаком. Таким образом, образцы при раздельном помоле являются не водостойкими. Прочность их составляет 13-18 МПа.

Выводы

На начальном этапе твердения наличие мелкодисперсной части карбонатного заполнителя снижает прочность в сравнении с бетоном без мелкодисперсной части. Но при дальнейшем твердении наблюдается обратная ситуация.

Прочность на сжатие для составов на чистом шлаке выше, чем с добавкой, особенно без пыли и после ТВО. Максимальное значение составило 33 МПа.

Изменение прочностных характеристик образцов с введением белого или желтого известняка в виде добавки не существенно.

Технология раздельного помола существенно понижает прочность образцов в возрасте 28 суток в водной среде. Прочность их составляет 13-18 МПа.

Введение добавки белого известняка в шлак ускоряет помол в два раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глуховський В.Д. Грунтосілікатні вироби і конструкції / Глуховський В.Д. – К.: Будівельник, 1967. – 154 с.
2. Глуховский В.Д. Грунтоцементы / Глуховский В.Д. // Доклад на XXI научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава КИСИ. – К.: КИСИ. – 1960. – С. 3 – 10.
3. Кривенко П.В. Долговечность шлакощелочного бетона / П.В. Кривенко, Е.К. Пушкарева. – К.: Будівельник, 1993. – 224 с.
4. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1976. – 280 с.
5. Большев Л.Н. Таблицы математической статистики / Л.Н. Большев, Н.В. Смирнов. – М.: Наука, 1983. – 416 с.
6. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А.А. Спиридонов – М.: Машиностроение, 1981. – 184 с.
7. Носатова Е. Материалосберегающие факторы в технологии производства стеновых изделий из шлакощелочного бетона на отходах камнепиления известняков ракушечников и жидких стеклах с силикатным модулем $M_c = 1,5-1,7$ после ТВО / Е.В. Носатова // Motrol. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Lublin. – 2013. – Vol. 17. – P. 23 – 26.

УДК. 666.9.015.42

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КАРБОНАТНЫХ ОТХОДОВ И ЦЕОЛИТОВ НА СРОКИ СХВАТЫВАНИЯ, ПРОЧНОСТЬ И КАЧЕСТВО ШЩВ НА ОСНОВЕ ЖИДКОГО СТЕКЛА С СИЛИКАТНЫМ МОДУЛЕМ $M_c=1,5-1,7$

Свищ И.С., Носатова Е.В.

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

В статье рассматриваются исследование влияния карбонатных отходов и цеолитов на сроки схватывания, прочность и качество ШЩВ на основе жидкого стекла с силикатным модулем $M_c=1,5-1,7$.

Жидкое стекло, доменный гранулированный шлак, шлакощелочное вяжущее, вещество, начало схватывания, конец схватывания, тонкость помола, плотность раствора, растворошлаковое отношение, прочность

ВВЕДЕНИЕ

Шлакощелочной цемент (ШЩЦ) является конкурентом на рынке вяжущих материалов обычному портландцементу и его разновидностям. Наряду с конкуренцией, ШЩЦ одновременно дополняет, и расширяет возможности этого рынка, области его использования, дает возможность расширить базу выпуска самых разнообразных по назначению строительных материалов, изделий и конструкций. Тем самым усиливается строительный потенциал регионов и государства в целом. Если рассмотреть вопрос использования ШЩЦ и бетонов на их основе в плоскости экологической безопасности и охраны окружающей среды, то также видны значительные положительные факторы применения этого материала в строительной индустрии. Использование отходов промышленных производств актуальная проблема для любого государства.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Известно, что для производства шлакощелочных вяжущих веществ, используют разнообразные виды шлаков металлургических производств и щелочесодержащих компонентов, таких как сода, содощелочной плав, жидкое стекло. Свойства шлакощелочных вяжущих веществ, а именно набор прочности, скорость гидратации, твердение композиций зависят от химико-минералогического и фазового состава шлака, а так же от природы щелочного компонента [1]. Рассматривая химико-минералогический состав портландцемента и шлакощелочного вяжущего вещества, в качестве аналога силикатной составляющей портландцемента C_2S и C_3S , содержание которой в нем превышает 70%, может быть принят (с определенной степенью приближения) силикат натрия – растворимое стекло [2]. Важной зависимостью для шлакощелочного вяжущего вещества является связь технологических (Р/Ш, сроки схватывания) и механических свойств (предел прочности при сжатии и изгибе) [4]. На данный момент существует широкая база экспериментальных данных о свойствах разнообразных шлакощелочных бетонов на основе мета и дисиликатов натрия [3]. Наиболее перспективной областью исследования является шлакощелочной бетон на жидком стекле с $M_c = 1,5 - 1,7$ с использованием отходов камнепиления известняка-ракушечника. При этом 70 % всего объема материала занимают отходы производств. Вяжущее вещество – тонкомолотый доменный гранулированный шлак, отход металлургического производства; отход белых известняков Крымского региона как добавка при совместном помоле при изготовлении вяжущего. Отход камнепиления известняка ракушечника в виде песка и щебня как заполнители для бетона.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

Целью данной работы является получение ШЩВ и бетонов на его основе для производства стеновых строительных изделий.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- 1) использование цеолита и шлака как добавки при совместном помоле с доменными гранулированными шлаками.
- 2) влияние ШЩВ на основе совместного помола доменного гранулированного шлака и цеолита на сроки схватывания, прочность, атмосфероустойчивость.
- 3) использование карбонатных отходов камнепиления нумулитового известняка как добавки при совместном помоле с доменными гранулированными шлаками.
- 4) влияние ШЩВ на основе совместного помола доменного гранулированного шлака и карбонатных отходов камнепиления нумулитового известняка на сроки схватывания, прочность, атмосфероустойчивость.
- 5) использование карбонатных отходов камнепиления нуммулитового известняка и цеолита как добавки при совместном помоле с доменными гранулированными шлаками.
- 6) влияние ШЩВ на основе совместного помола доменного гранулированного шлака, цеолита и карбонатных отходов камнепиления нуммулитового известняка на сроки схватывания, прочность, атмосфероустойчивость.
- 7) Влияние режимов твердения на набор прочности, атмосфероустойчивость и водостойкость ШЩВ с использованием отходов камнепиления известняков.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве исходные материалов для экспериментальных исследований использовали:

- жидкое стекло Днепродзержинское с $M_c=1,65$ и $M_c=1,59$ и плотностью $\rho=1,18$ г/см³.
- шлак доменный металлургический гранулированный Запорожский.
- цеолит Закарпатский природный дробленный Сокирницкого месторождения.
- известняк белый мшанковый и нумулитовый (Скалистое) – отход камнепиления.
- известняк-ракушечник желтый Первомайского района – отход камнепиления.
- песок кварцевый с $M_k=2,5$

Данный шлак является основным $M_o = 1,12$. Производился его помол в лабораторной мельнице в чистом виде и с добавками с различными удельными поверхностями. Вяжущее на основном шлаке характеризуется высокой активностью в начальные сроки твердения. При

взаимодействии шлака с жидким стеклом (Na_2SiO_3) образуются низкоосновные гидросиликаты кальция.

Цеолиты – это минералы из группы водных алюмосиликатов щелочных и щелочноземельных элементов с тетраэдрическим структурным каркасом, включающим полости (пустоты), занятые катионами и молекулами воды. В отличие от кристаллогидратов, также выделяющих значительные количества воды при нагреве, цеолиты поглощают и выделяют не только воду, но и другие различные молекулы и без изменения кристаллической структуры. К тому же поглощение цеолитами в отличие от координационного связывания в кристаллогидратах связано с явлением адсорбции – концентрированием вещества из газовой фазы на поверхности твердого тела (адсорбента) или в объеме, образуемых его структурой пор.

Химический состав Запорожского доменного шлака и Закарпатского цеолита представлен в табл. 1.

Свойства известняка ракушечника: насыпная плотность щебня фракции 5 – 10 составляет $0,9 \text{ г/см}^3$; насыпная плотность песка фракции $< 5 \text{ мм}$ составляет $1,2 \text{ г/см}^3$; истинная плотность – $2,71 \text{ г/см}^3$.

Таблица 1

Химический состав металлургического шлака и природного цеолита

Материал	Содержание оксидов %						
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	P_2O_5
Запорожский шлак	41,66	3,52	1,015	47,78	3,03	0,34	0,008
Закарпатский цеолит	77,75	12,57	1,42	2,26	0,93	2,68	0,088

Определение активности ШЩВ проводились в соответствии с ДСТУ Б В. 2.7-187. Определение прочности ШЩБ проводились в соответствии с ДСТУ Б В. 2.7-214.

Обработка экспериментальных данных выполнялась с помощью множественного регрессионного анализа, в результате которого получены уравнения поверхности в 3–х мерном пространстве с минимальным отклонением от результатов наблюдений [5]. При определении регрессионных уравнений, брали в расчет все половинки балочек.

Регрессионный анализ выполнялся с помощью методов линейной алгебры, реализованных в пакете прикладных математических программ Scilab [6]. Пакет прикладных математических программ, предоставляющий мощное открытое окружение для инженерных (технических) и научных расчётов, с большим количеством функций и встроенным языком программирования. Коэффициенты уравнения находят из системы нормальных уравнений вида:

$$(X^T \cdot X) \cdot B = X^T \cdot Y, \quad (1)$$

где X – матрица условий эксперимента; X^T – транспонированная матрица; X , Y – вектор результатов эксперимента; B – искомый вектор коэффициентов аппроксимирующего полинома.

В виду того, что фактор «Добавки в шлак» является категориальным, для возможности применения математических методов значения фактора необходимо преобразовать в числовую форму и в дальнейшем в полученные уравнения подставлять только соответствующие значения. Для оценки влияния факторов на результат желательно нормировать значения факторов. В нашем случае матрица условий эксперимента представлена в табл. 2.

Для решения системы нормальных уравнений в матричной форме следует умножить ее слева на матрицу, обратную матрице системы нормальных уравнений, если таковая существует:

$$(X^T \cdot X)^{-1} (X^T \cdot X) \cdot B = (X^T \cdot X)^{-1} \cdot (X^T \cdot Y), \quad (2)$$

$$(X^T \cdot X)^{-1} (X^T \cdot X) = E, \quad (3)$$

где E – единичная матрица.

Таким образом, решение системы нормальных уравнений в матричной форме запишется в следующем виде:

$$B = (X^T \cdot X)^{-1} (X^T \cdot Y). \quad (4)$$

Таблица 2

Натуральные значения факторов и матрица условий опытов

№ п/п	Значения факторов		Матрица с натуральными значениями опытов X		Нормированная матрица условий опытов X _n	
	удельная поверхность шлака. S _{уд.} , см ² /г	добавки в шлак, Д	S _{уд.}	Д	X ₁	X ₂
1	3200	Без добавок (Б)	3200	1	-1	-1
2	3270	15% цеолит (Ц)	3270	2	-0,946	-0,333
3	4200	10% цеолит, 30% известняк (ЦИ)	4200	3	-0,231	0,333
4	5800	30% известняк (И)	5800	4	1	1

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Результаты испытаний опытных образцов ШЩВ и ШЩБ представлены в табл. 3 и 4.

Таблица 3

Результаты испытаний образцов ШЩВ размером 4×4×16 см после тепло-влажностной обработки (ТВО)

№	Условия получения образцов		Результаты испытаний									
	S _{уд.} , см ² /г	добавки в шлак	прочность на сжатие (R _{сж.}), МПа							среднее значение	время схватывания, мин	
			образцов								начало	конец
1	3200	без добавок	53,5	62	38	39,5	42	69,5	49	43	102	
2	3270	15% цеолит	50,5	49	50,5	53,4	54	55	52	39	92	
3	4200	10% цеолит, 30% известняк белый	27	29	26,1	29,7	29,5	27,4	28	27	64	
4	5800	30% известняк белый	53,5	53	56	54,5	55	53	54	12	32	

Примечание: 1. Режим ТВО: 2 + 10 + 2,5 ч; температура 80°С;

2. Силикатный модуль жидкого стекла M_c = 1,59, плотность жидкого стекла ρ = 1,18 г/см³, р/ш = 0,4.

Таблица 4

Результаты испытаний образцов-цилиндров ШЩБ диаметром 7 см после ТВО

№	Условия получения образцов		R _{сж.} , МПа			
	S _{уд.} , см ² /г	добавки в шлак	образцов			Ср. значение
1	3200	без добавок	10,2	14,65	11,0	11,95
2	3270	15% цеолит	12,7	9,0	6,8	9,5
3	4200	10% цеолит, 30% известняк белый	10,3	11,7	9,4	10,5
4	5800	30% известняк белый	24,9	24,08	24,3	24,7

Примечание: 1. Силикатный модуль жидкого стекла M_c = 1,65, плотность жидкого стекла ρ = 1,18 г/см³, р/ш = 0,36.

2. Состав бетона на 1 м³: щебень – 1000 кг, песок – 682 кг, шлак – 550 кг, раствор жидкого стекла – 200 л.

В результате вычислений получены уравнения зависимости прочности образцов балочек ШЩВ размером 4×4×16 см (5) и образцов-цилиндров ШЩБ диаметром 7 см (6) после ТВО от условий испытаний:

$$R_{\text{ТВО}} = 51,97 + 19,37 \cdot X_1 - 21,56 \cdot X_2, \quad (5)$$

$$R_{\text{ТВО}} = 18,12 + 13,7 \cdot X_1 - 8,039 \cdot X_2. \quad (6)$$

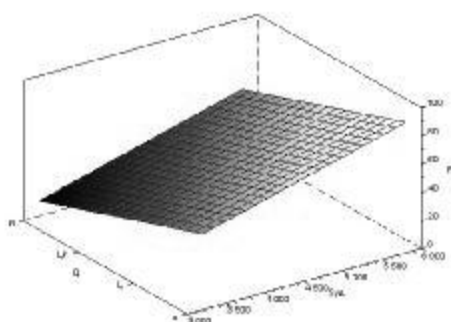
Графически уравнения (5) и (6) представлены на рис. 1, из которого видно, что зависимости прочности для вяжущих и бетонов подобны. В обоих случаях увеличение удельной поверхности способствует увеличению прочности, а введение добавок – снижению

прочности. Основным отличием является большая прочность образцов вяжущего по сравнению с образцами бетона из этого вяжущего при прочих равных условиях.

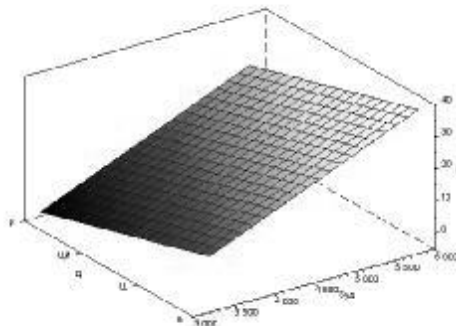
Уравнения регрессии начала и конца схватывания шлакощелочного теста имеют вид:

$$H_{cx} = 24,9 - 13,24 \cdot X_1 - 2,26 \cdot X_2 + 2,60 \cdot X_1 \cdot X_2, \quad (7)$$

$$K_{cx} = 8,93 - 30,78 \cdot X_1 - 4,22 \cdot X_2 + 8,073 \cdot X_1 \cdot X_2. \quad (8)$$



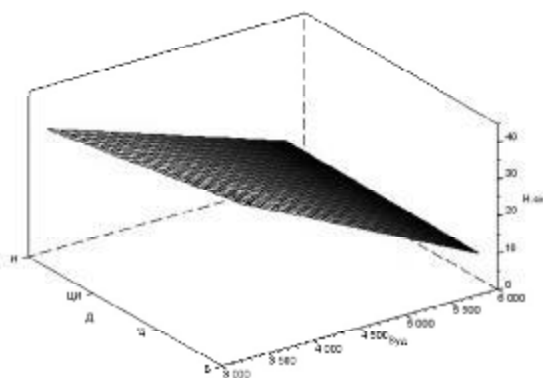
а)



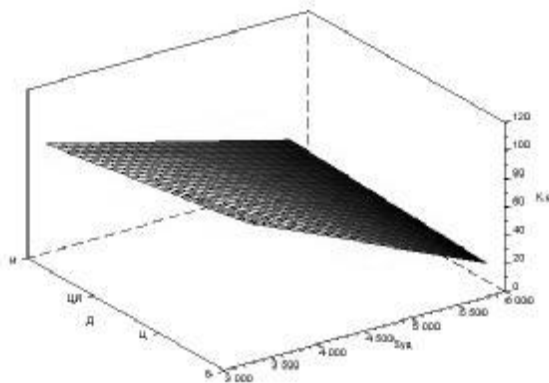
б)

Рис. 1. Поверхность отклика зависимости влияния вида добавки и удельной поверхности на прочность вяжущего и бетона, МПа, построенные по уравнениям: а) – (5); б) – (6)

На рис. 2 показаны графики, построенные по уравнениям (7) и (8) соответственно.



а)



б)

Рис. 2. Зависимость начала и конца схватывания (мин) от удельной поверхности и добавки в шлак, построенные по уравнениям: а) – (7); б) – (8)

Характер поверхностей отклика свидетельствует о преобладающем влиянии удельной поверхности на сроки схватывания. В то же время при увеличении удельной поверхности возрастает влияние добавки в вяжущее и схватывание замедляется.

Исследования влияния режимов твердения на образование излишков щелочи на поверхности шлакощелочного бетона показали, что на поверхности образцов, твердевших без ТВО, возникают излишки щелочного мха, а на поверхности образцов, подвергавшихся ТВО, излишки щелочи не образуются. Таким образом, режим ТВО оказал положительное влияние на атмосферостойчивость и водостойкость всех составов бетонов

Выводы

1. В результате исследования составы ШЩВ 1, 2, 3 показали стандартные сроки схватывания (начало – 27 мин., конец – 100 мин.).

2. Активность всех составов вяжущих находится в пределах от 28 МПа до 54 МПа, что является удовлетворительным показателем для производства стеновых изделий.

3. Лучший результат прочности бетона на сжатие показали 1, 3 и 4 составы.
4. На получение высоких прочностных показателей ШЩБ на отходах известняка ракушечника влияет добавка 30 % белого известняка и совместный их помол.
5. Выявлено, что режим ТВО оказал положительное влияние на атмосферостойчивость и водостойкость всех составов бетонов.
6. На основе анализа полученных результатов целесообразно провести многофакторный эксперимент со следующими варьируемыми факторами и их пределами:
 - $S_{уд}$ шлака в пределах 3000 – 3600 см²/г;
 - использование ШЩВ на основе совместного помола доменных шлаков и отходов белых известняков от 0 до 30%.
 - режим ТВО, а именно влияние температуры прогрева.
 - плотность жидкого стекла с силикатным модулем $M = 1,5...1,7$ в пределах 1,12...1,16 г/см³.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глуховський В.Д. Грунтосілікатні вироби і конструкції / Глуховський В.Д. – К.: Будівельник, 1967. – 154 с.
2. Глуховский В.Д. Грунтоцементы / Глуховский В.Д. // Доклад на XXI научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава КИСИ. – К.: КИСИ. – 1960. – С. 3 – 10.
3. Кривенко П.В. Долговечность шлакощелочного бетона / П.В. Кривенко, Е.К. Пушкарева. – К.: Будівельник, 1993. – 224 с.
4. Состав, структура и свойства цементных бетонов / Под редакцией Г.И. Горчакова. – М.: Стройиздат, 1976. – 144 с.
5. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул: Учеб. Пособие для втузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1988. – 239 с.: ил.
6. Алексеев Е.Р. Scilab: Решение инженерных и математических задач / Е.Р. Алексеев, О.В.Чеснокова, Е. А.Рудченко. – М.: ALT Linux; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 260 с.

РАЗДЕЛ 4. ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, МЕХАНИКА И СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ

УДК 624.016.7:699.841

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГОПОГЛОТИТЕЛЯ КОЛЬЦЕВОГО ТИПА В СТАЛЬНЫХ КАРКАСАХ

Абдурахманов А. З.

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

На примере 15-этажного здания определяется эффективность применения энергопоглотителя кольцевого типа, геометрические параметры которого рассчитаны при помощи предложенной формулы. В качестве критерия эффективности приняты расход металла и трудоемкость изготовления и возведения.

энергопоглотитель, стальные каркасы, энергоемкость, сейсмическая нагрузка, пластические деформации, расход стали, колебания

ВВЕДЕНИЕ

Существует большое количество способов повышения сейсмостойкости зданий: резинометаллические опоры, кинематические фундаменты, динамические гасители колебаний и другие. Однако эти и другие системы обладают рядом существенных недостатков, одним из которых является количественная оценка эффекта применения.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Наиболее полно над расчетом стальных каркасов с учетом развития пластических деформаций работал Л. А. Бородин [1, 2], который опирался на энергетический принцип расчета таких систем, предложенный И. А. Корчинским [3, 4]. Так же существует методика расчета кольцевых сейсмопоглотителей предложенная Г. М. Остриковым и Ю. С. Максимовым [5]. Эта методика позволяет определить размеры сечения кольца, однако не учитывает упругопластическую работу кольца и степень её развития в сечении. Также при подборе сечения следует указывать необходимый уровень снижения сейсмической нагрузки на каркас здания, оснащенного энергопоглотителями кольцевого типа (ЭПК).

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

Кольцевые энергопоглотители (ЭПК) просты в изготовлении и хорошо работают в пластической стадии на знакопеременные малоцикловые нагрузки и, благодаря этому, обладают высокими энергопоглощающими свойствами. Обладая вышеперечисленными положительными свойствами, кольцевой сейсмопоглотитель должен применяться при строительстве сейсмостойких многоэтажных каркасных зданий. Для этого должна быть методика расчета, позволяющая определить геометрические параметры ЭПК с учетом неупругих деформаций в кольце и динамических характеристик здания. В связи с этим, целью данной работы является изучить эффективность кольцевых сейсмопоглотителей на основе предложенной методики расчета каркасов многоэтажных зданий оснащенных ЭПК.

МЕТОДИКА, РЕЗУЛЬТАТЫ И АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЯ

Как показали результаты теоретических и экспериментальных исследований, оснащение связевых каркасов зданий энергопоглотителями кольцевого типа позволяет повысить надежность работы каркасов [5, 6, 7, 8] при сейсмических воздействиях. При этом за счет интенсивного развития упругопластической работы энергопоглотителя значительно увеличивается рассеивание энергии колебаний.

В качестве критериев эффективности конструктивного решения приняты: расход металла и трудоемкость изготовления и возведения [9]. Сравнение технико-экономических показателей осуществлялось для металлических связевых каркасов, один из которых выполнен по традиционной схеме, а второй – с применением энергопоглотителей кольцевого типа.

Сравнение вариантов конструктивных решений производилось на примере 15-этажного гражданского здания (рис. 1) с размерами в плане $L \times B = 30 \times 18$ м и высотой $H = 50$ м. Каркас здания имеет сетку колонн 6×6 м и высоту этажа 3,3 м. Горизонтальная жесткость обеспечивается вертикальными связями. Связи размещены в центральной части каркаса. Место строительства расположено в районе с 9-балльной сейсмичностью.

Подбор параметров ЭПК производился в соответствии со следующей методикой:

1. По формуле, выведенной автором на основе энергетического принципа, определяются основные параметры кольца:

$$\frac{I}{r \cdot \eta} = \frac{a_0 \cdot K \cdot u \cdot k_{II} \cdot k_{\phi} \cdot \sin \varphi}{16 \cdot \pi \cdot \sigma_T \cdot N_k} \cdot \sqrt{m \cdot C_k \cdot \frac{i - \gamma^2}{(i - \mu^2) \cdot \gamma^2}} \quad (1)$$

где

I – момент инерции сечения кольца;

η – расстояние срединной поверхности нижнего или верхнего пояса от нейтральной оси;

r – радиус кольца;

a_0 – ускорение колебаний основания;

K – коэффициент, равный произведению коэффициентов k_1, k_2, k_3 ;

u – коэффициент, принимаемый в зависимости от категории и мощности слоя грунта основания;

k_n – коэффициент перегрузки;

k_{ϕ} – коэффициент, учитывающий влияние высших форм колебаний;

m и C_k – инерционная масса и жесткость каркаса;

i и μ – коэффициенты, зависящие от интенсивности неупругих деформаций;

γ – коэффициент, определяемый по формуле: $\gamma = \xi \cdot \mu$, ξ – задаваемый коэффициент снижения сейсмической нагрузки.

N_k – число колец в одном направлении;

2. Приближенно определяется энергия внешних сейсмических воздействий, полученная каркасом за один полуцикл собственных колебаний основного тона [5]:

$$V_1 = 0,5 \sum_{j=1}^n S_j \cdot y_j, \quad (2)$$

где S_j и y_j – горизонтальная сейсмическая нагрузка и прогиб каркаса в уровне j -того этажа.

3. Определяется суммарная одноцикловая энергоемкость всех энергопоглотителей [5]:

$$W_u = \bar{W}_u \cdot G_{\Sigma}, \quad (3)$$

где $\bar{W}_u = 4F_T \cdot f_n / g$ – удельная одноцикловая энергоемкость энергопоглотителя.

Нагрузка, при которой в поясах кольца начнут развиваться пластические деформации [5]: $F_T = 2A_f \cdot h_1 \cdot \sigma_{TY} / r$;

Изменение диаметра кольца вдоль действующих сил за счет пластических деформаций [5]: $f_n = f_T \cdot (\alpha_n - 1)$;

При этом коэффициент податливости энергопоглотителя должен находиться в пределах $\alpha_n = 6-10$.

g – вес элемента;

G_{Σ} – суммарная масса энергопоглотителей.

4. Проверяется условие надежности работы стального каркаса при землетрясении расчетной интенсивности [5]:

$$\bar{W}_u \cdot G_{\Sigma} \geq 2 \cdot 0,95V_1 = 1,9V_1, \quad (4)$$

где 0,95 – коэффициент, учитывающий поглощение энергии при упругих колебаниях каркаса.

Проверочный расчет, проводившийся на основное сочетание, показал, что под действием ветровой нагрузки, принятой для 3 климатического района, кольцевые энергопоглотители работают в упругой стадии.

В соответствии с [10] вертикальная составляющая сейсмической нагрузки и крутящий момент относительно вертикальной оси не учитывались. Размеры сечений приведены в таблице 1.

При подборе параметров ЭПК уровни снижения сейсмической нагрузки ξ и интенсивности упругопластической работы q установлены равными соответственно 1,5 и 1/20.

На основании выполненных расчетов проведено технико-экономическое сравнение традиционной и предлагаемой конструктивных форм.

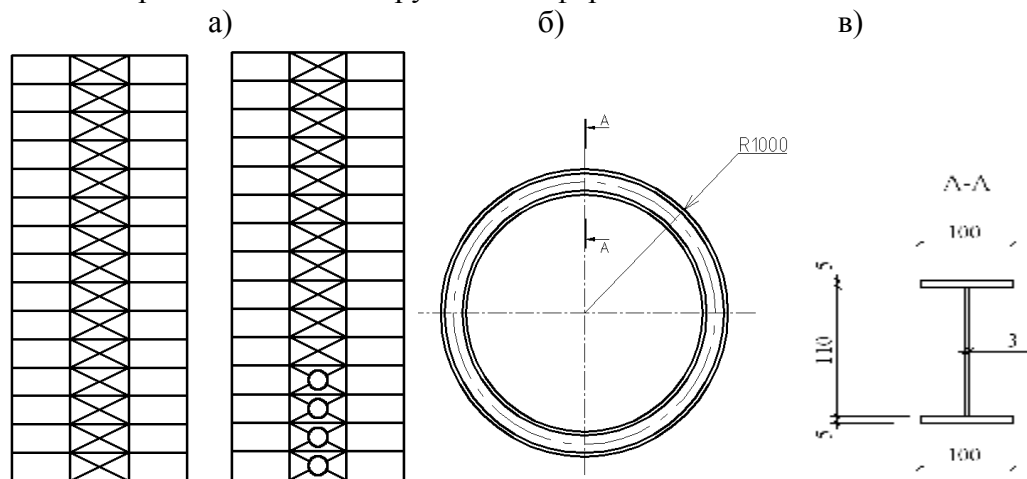


Рис. 1. Схемы здания и ЭПК:

а – здание без ЭПК; б – здание с применением ЭПК; в – геометрическая схема ЭПК

Таблица 1

Расчетные сечения элементов каркаса

Этаж	Здание без ЭПК			Здание с ЭПК		
	Ригели	Колонны, входящие в вертикальные связи	Вертикальные связи	Ригели	Колонны, входящие в вертикальные связи	Вертикальные связи
1	двутавр пояс 280x12 стенка 500x6	короб стенка 800x25 пояс 500x22	швеллер 2№33	двутавр пояс 280x12 стенка 500x6	короб стенка 630x18 пояс 480x10	швеллер 2№16
2-3	двутавр пояс 280x12 стенка 500x6	короб стенка 630x20 пояс 560x18	швеллер 2№33	двутавр пояс 280x12 стенка 500x6	короб стенка 530x16 пояс 500x14	швеллер 2№18
4-6	двутавр пояс 280x12 стенка 500x6	короб стенка 560x20 пояс 500x14	швеллер 2№33	двутавр пояс 280x12 стенка 500x6	короб стенка 450x18 пояс 450x16	швеллер 2№16
7-9	двутавр пояс 280x12 стенка 500x6	короб стенка 450x14 пояс 450x12	швеллер 2№30	двутавр пояс 280x12 стенка 500x6	короб стенка 450x12 пояс 320x14	швеллер 2№14
10-12	двутавр пояс 280x12 стенка 500x6	короб стенка 400x12 пояс 320x14	швеллер 2№27	двутавр пояс 280x12 стенка 500x6	короб стенка 300x12 пояс 280x10	швеллер 2№14
13-15	двутавр пояс 280x12 стенка 500x6	короб стенка 260x6 пояс 200x6	швеллер 2№20	двутавр пояс 280x12 стенка 500x6	короб стенка 210x5 пояс 200x6	швеллер 2№10

Расчеты каркасов зданий производились на программном комплексе ANSYS. Как показывают графики, приведенные на рис. 2–6, характер изменения напряжений в колоннах и диагональных связях практически аналогичен друг другу. Напряжения в колоннах и связях

совпадают до середины воздействия, даже в некоторых случаях в здании без ЭПК напряжения в колоннах меньше чем в здании с ЭПК. Начиная со второй половины воздействия, когда в кольцах стали развиваться упругопластические деформации, напряжения в колоннах и связях здания оснащенного ЭПК уменьшаются, а при подходе к резонансному участку колебаний происходит заметное снижение усилий в элементах каркаса. Так, напряжения в колоннах, примыкающих к связям с ЭПК, уменьшаются от 1,5 до 2 раз, а напряжения в диагональных связях от 2,5 до 3 раз.

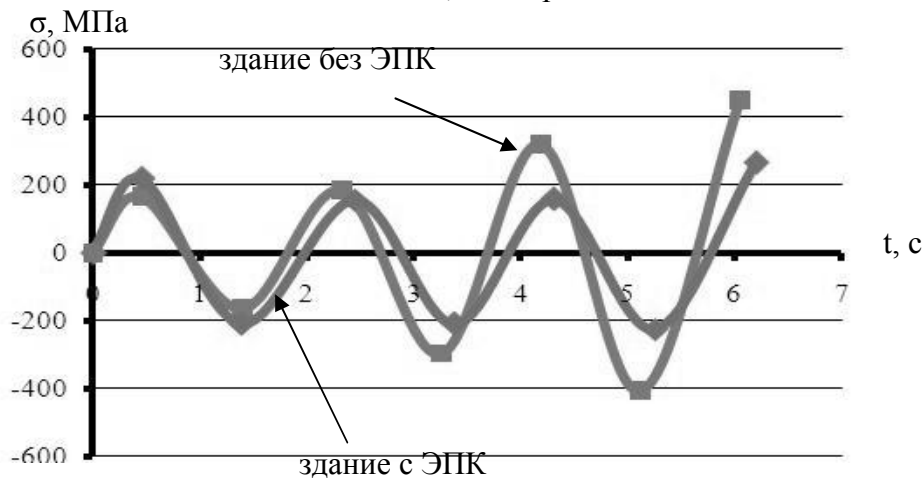


Рис. 2. Изменение напряженного состояния в колонне 1-го этажа

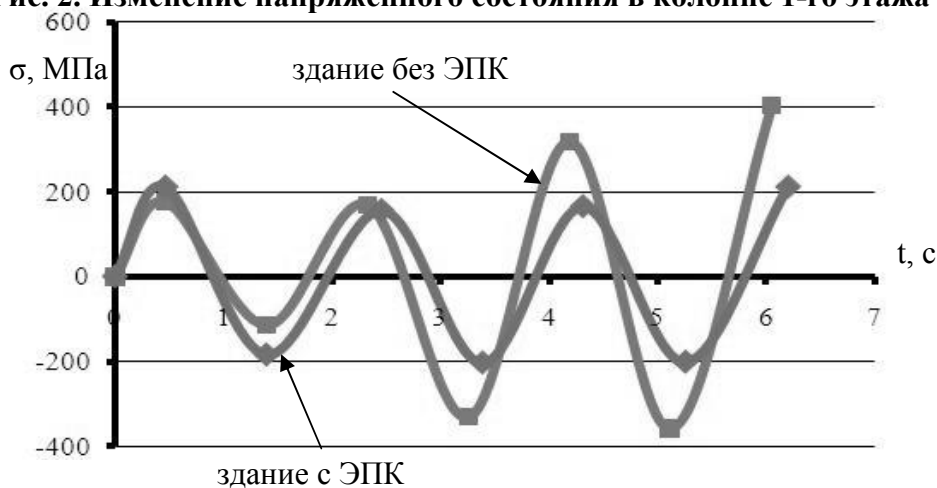


Рис. 3. Изменение напряженного состояния в колонне 2-го этажа

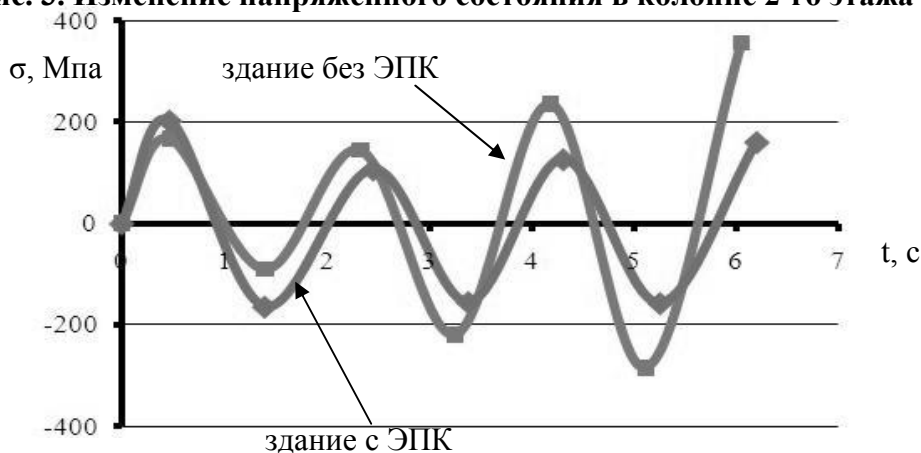


Рис. 4. Изменение напряженного состояния в колонне 3-го этажа

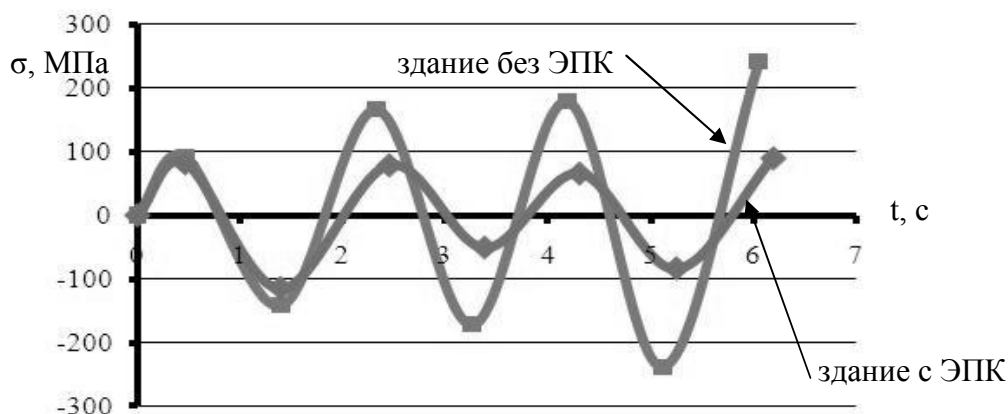


Рис. 5. Изменение напряженного состояния в диагональной связи 1-го этажа

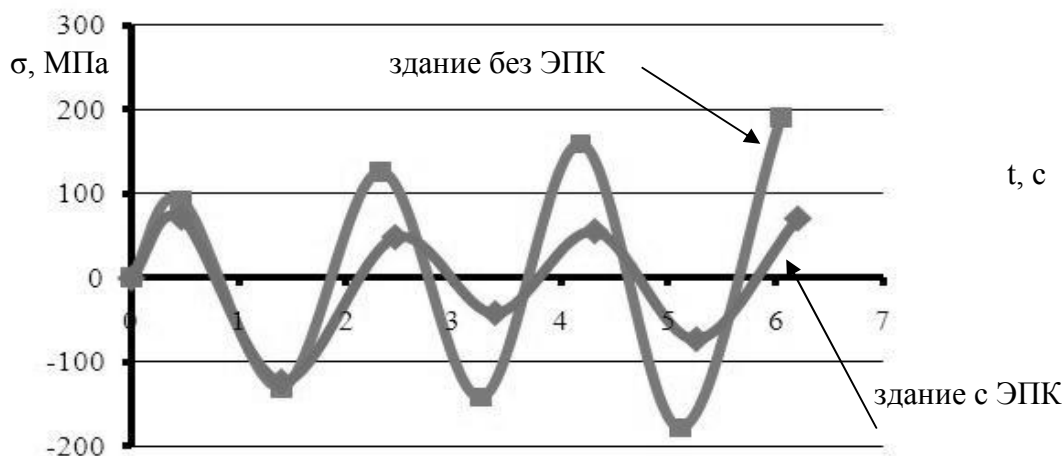


Рис. 6. Изменение напряженного состояния в диагональной связи 2-го этажа

Таблица 2
Технико-экономическое сравнение каркасов с ЭПК и без ЭПК

Наименование конструкции	Масса конструкций, т	Общий расход металла, т	Трудоемкость изготовления, ч-ч	Трудоемкость монтажа, ч-ч	Общая трудоемкость, ч-ч
Ригели (l=6 м, 540 шт)	246,7*	566,5	33,8	4109	4225
	246,7		33,8		
Колонны рядовые (l=45 м, 12 шт)	102,3	498,8	20,0	3966	4075
	81,6		19,5		
Колонны фасадные (l=45 м, 20 шт)	141,3	498,8	12,0	3966	4075
	130,4		10,8		
Вертикальные связи (l=6,7 м, 180 шт)	76,2	498,8	50,0	3966	4075
	40,1		45,0		

* над чертой приведены данные для каркаса без ЭПК;
под чертой – с ЭПК

Выводы

1. Результаты расчета 15-этажного каркасного здания показали, что для обеспечения полуторократного уровня снижения сейсмической нагрузки, связевой каркас должен быть оборудован 12-ю энергопоглотителями кольцевого типа. Это дает возможность снизить сечения колонн, примыкающих к вертикальным связям на 27%, а сечения подкосов на 48%.
2. Расход стали по каркасу предлагаемой конструктивной формы снижается на 11%, а трудоемкость изготовления и монтажа – на 3%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бородин Л. А. О расчете упругопластических систем при сейсмическом воздействии / Л. А. Бородин // Строительная механика и расчет сооружений. – 1982. – №1. – С. 68-72.
2. Бородин Л. А. Оценка энергии, сообщаемой упругопластическим системам при сейсмическом воздействии / Л. А. Бородин // С-во и арх.-ра. Сер. 14. Строительство в особых условиях. Сейсмостойкое строительство. Э.-И. – 1979. – Вып. 10. – С. 20-25.
3. Корчинский И. Л. Оценка несущей способности конструкций при сейсмическом воздействии с энергетических позиций / И. Л. Корчинский // Бетон и железобетон. – М. : 1967. – №2.
4. Корчинский И. Л. Конструктивные мероприятия, обеспечивающие повышение сохранности каркасов зданий во время землетрясений / И. Л. Корчинский, Л. А. Бородин, Г. М. Остриков // Строительство и архитектура Узбекистана. – 1977. – №3. – С. 39–42.
5. Остриков Г. М., Максимов Ю. С. Стальные сейсмостойкие каркасы многоэтажных зданий. – Алма-Ата: Казахстан, 1985. – 120 с.
6. Новиков В. Л. Экспериментальное исследование на модели динамических характеристик стального каркаса здания, оснащенного энергопоглотителями / В. Л. Новиков, Г. М. Остриков // Реф. сб. Строительство и арх.-ра. Сер. 14. Сейсмостойкое строительство. – 1979. – Вып. 10. – С. 14-18.
7. Ажермачов Г. А. Експериментальні дослідження енергопоглиначів кільцевого типу на знакозмінні навантаження / Г. А. Ажермачов, А. З. Абдурахманов, Е. М. Меннанов // Motrol. Motorization and power industry in agriculture. – Simferopol – Lublin 2012. – Volume 14-1. – P. 28-34.
8. Пат. 35850 Україна, МПК (2006) E04H 9/02 E04B 1/24. Каркас сейсмостійкої багатоповерхової будівлі / Г. А. Ажермачов, С. Г. Ажермачов, А. З. Абдурахманов; заявник та патентовласник Національна академія природоохоронного та курортного будівництва. – № u200804782; заявл. 14.04.2008; опубл. 10.10.2008, Бюл. №19. – 4 с.
9. Лихтарников Я. М. Вариантное проектирование и оптимизация стальных конструкций / Лихтарников Я. М. – М. : Стройиздат, 1979. – 319 с.
10. ДБН В.1.1-12-2006. Строительство в сейсмических районах Украины / Минстрой, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Украины. – К.: ИСС «ЗОДЧИЙ», 2006. – 50 с.

УДК 624.137

ИССЛЕДОВАНИЯ ЖИВУЧЕСТИ СИСТЕМЫ «СВАЙНОЕ УДЕРЖИВАЮЩЕЕ СООРУЖЕНИЕ-ГРУНТ» ПРИ МЕХАНИЧЕСКИХ ПОВРЕЖДЕНИЯХ ОСНОВАНИЯ ПЕРЕД СВАЯМИ

Дьяков И.М.

Национальная академия природоохрального и курортного строительства

На основании численных экспериментов выявлены особенности работы системы «свайное удерживающее сооружение-грунт» при возникновении различных по форме и глубине механических повреждений грунтового основания. Исследовано изменение напряженно-деформированного состояния свай и свайного ростверка, деформации и напряжения в грунтовой массе при возникновении и увеличении повреждения. Выявлены факторы, влияющие на живучесть системы «свайное удерживающее сооружение-грунт» и определены пути ее повышения.

Свайные удерживающие сооружения, повреждение, живучесть, оползни, численный эксперимент, прогрессирующее разрушение

ВВЕДЕНИЕ

Свайные удерживающие сооружения широко используются для закрепления оползнеопасных склонов. Повреждение системы «свайное удерживающее сооружение-грунт» несет угрозу прогрессирующего разрушения свайного сооружения, развития оползневых процессов, аварий объектов, размещенных как на удерживаемом массиве грунта, так и на прилегающих территориях. В соответствии с ДБН В.1.2-14-2009 [1], «строительные конструкции и основания ... должны иметь достаточную живучесть относительно локальных разрушений и предусмотренных нормами аварийных влияний». Вместе с тем методы оценки и пути обеспечения живучести не определены и не нормированы, что объясняется недостаточной экспериментальной и теоретической базой в данной сфере. Несмотря на участвовавшие аварии, отсутствуют методы оценки живучести конструкций, взаимодействующих с грунтом, что не позволяет повысить безопасность освоения и эксплуатации территорий со сложными инженерно-геологическими условиями и рельефом местности.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Исследованиями в области живучести различных сооружений и строительных конструкций активно проводились в последние годы в Украине, России и других странах такими учеными, как: Н.П. Абовский, В.И. Колчунов, Г.А. Гениев, Г.И. Шапиро, В.И. Травуш, Н.В. Клюева, А.В. Перельмутер, П.Г. Еремеев, Б.С. Расторгуев, В.М. Бондаренко, Я.М. Айзенберг, Ю.И. Кудишин, В.О. Алмазов, А.И. Плотников, А.Г. Тамразян, В.М. Ройтман, С.В. Доронин, В.В. Тур, В.К. Востров, Ю.П. Назаров, В.Н. Симбиркин и др. Этими и другими авторами разработаны различные подходы к оценке живучести многопролетных и пространственных сооружений, многоэтажных каркасных и панельных зданий и других объектов. Исследования живучести сооружения и конструкции, взаимодействующие с грунтом, в том числе свайных удерживающих конструкций, носят единичный характер [2, 3], не достаточный для создания методики ее оценки.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

Цель статьи – на основе численных экспериментов выявить особенности влияния механических повреждений грунтового основания на напряженно-деформированное состояние свайных удерживающих конструкций и живучесть системы «удерживающее сооружение – грунт».

Задачи исследования: рассмотреть и проанализировать результаты численных экспериментов; выявить особенности изменения напряженно-деформированного состояния свай, свайного ростверка и грунтового массива при возникновении повреждений в грунтовом основании; выявить влияние повреждений на живучесть системы «удерживающее сооружение – грунт».

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Методика включала проведение численного эксперимента в программном комплексе «Plaxis», сопоставление и анализ результатов экспериментальных исследований.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Повреждения грунтового основания перед свайным удерживающим сооружением достаточно распространены. Их можно разделить на:

- механические повреждения;
- изменения деформационных и прочностных характеристик грунта под воздействием воды, суффозионных и других процессов.

Механические повреждения грунтового основания перед сваями могут быть связаны с разработкой грунта при прокладке коммуникаций, выполнении планировочных мероприятий в процессе строительного освоения участка, устройством траншей и котлованов (рис.1), с рядом склоновых и других процессов. Для оценки влияния на живучесть свайной удерживающей конструкции локальных механических повреждений в основании сооружений перед сваями были проведены численные эксперименты в программном

комплексе «Plaxis 3D», позволяющем моделировать поэтапное образование и увеличение повреждений в грунтовом массиве.



Рис.1. Разработка грунта перед свайной удерживающей конструкцией [4]

В эксперименте использовалась однорядная свайная удерживающая конструкция с круглыми сваями длиной 8 м диаметром 0,6 м. В верхней части сваи были объединены ростверком сечением 0,8x1,0 м. Длина сооружения 12 м. Грунтового массив сложен пылевато-глинистыми грунтами. Повреждения в основании (выемки) моделировались в ПК «Plaxis 3D» путем задания их формы на поверхности грунта и дальнейшей экструзии грунтового массива. В процессе эксперимента полученным объемам первоначально присваивались свойства грунта основного массива, которые на определенном этапе эксперимента обнулялись. Глубина задаваемых в моделях выемок составляла: 1,0 м, 2,0 м, 3,0 м и 4,0 м. Для каждой глубины в процессе эксперимента пошагово изменялась протяженность выемки вдоль сооружения, достигая в последней стадии расчета $\frac{2}{3}$ от длины сооружения. В исследованиях анализировались: эпюры изгибающих моментов, поперечных и продольных сил в ростверке и сваях, напряженно- деформированное состояние грунтового массива.

Исследования показали, что образование повреждения в виде выемки даже при небольшой ее глубине приводит к значительному увеличению усилий в свайном ростверке. Так при выемке глубиной 1 м и длине 8 м, максимальный изгибающий момент в ростверке в горизонтальной плоскости возрастал в 8,0 раз, а при выемках большой глубины при той же длине в 80,0 раз (табл.1). Изменение формы эпюры при увеличении протяженности выемки происходило однотипно для выемок различной глубины. Максимальная величина изгибающего момента достигалась у центра повреждения (рис.2).

Таблица 1

Сводная таблица максимальных изгибающих моментов, поперечных и продольных сил в элементах свайной удерживающей конструкции при возникновении повреждений в основании перед сваями

Группа задаваемого повреждения	Экспериментальная модель	Длина повреждения	Глубина повреждения, м	Максимальные усилия в ростверке*					Максимальные усилия в сваях*				
				M _x , кНм	M _y , кНм	Q _x , кН	Q _y , кН	N, кН	M _x , кНм	M _y , кНм	Q _x , кН	Q _y , кН	N, кН
Без повреждения	0	0	0	0,574 -0,402	12,03 -8,545	0,514 -0,362	24,58 -23,24	-13,65	2,368 -0,225	4,435 -6,138	1,802 -1,192	5,19 -4,285	-46,68
Выемка малой глубины	1.1	2,0	1,0	2,568 -0,57	12,47 -11,72	1,279 -1,025	24,61 -23,23	-13,73	2,308 -0,563	4,662 -5,777	1,796 -2,49	4,944 -4,58	-52,79
	1.2	5,0	1,0	4,837 -1,058	13,03 -12,40	1,906 -2,105	24,98 -22,11	-14,0	2,356 -0,449	4,401 -5,343	1,761 -1,638	4,776 -4,383	-55,58
	1.3	8,0	1,0	4,52 -0,297	12,43 -12,97	1,688 -1,971	24,12 -22,29	-13,38	2,4 -1,064	4,407 -5,105	1,764 -1,373	4,596 -4,567	-60,52
Выемка средней глубины	2.1	2,0	2,0	7,058 -0,987	12,85 -15,83	3,418 -3,301	24,74 -24,18	-14,75	2,727 -2,365	4,182 -5,442	2,011 -6,628	5,419 -5,822	-49,14
	2.2	5,0	2,0	15,72 -4,163	13,46 -16,47	5,893 -7,52	25,14 -22,85	-16,91	3,081 -2,068	3,6 -5,202	4,57 -6,048	7,178 -5,453	-50,07
	2.3	8,0	2,0	16,11 -0,91	12,62 -16,95	5,814 -6,028	24,15 -22,96	-15,77	3,212 -3,212	4,245 -4,751	5,346 -3,790	6,851 -6,053	-52,17
Выемка средней глубины	3.1	2,0	3,0	10,83 -1,347	12,21 -16,30	4,863 -5,144	23,51 -23,52	-15,59	5,384 -5,246	5,525 -5,062	4,265 -9,028	4,836 -6,649	-52,79
	3.2	5,0	3,0	27,40 -7,142	12,84 -16,45	9,814 -13,32	23,82 -21,89	-20,40	7,239 -4,413	4,923 -7,491	10,19 -10,79	8,719 -6,344	-55,58
	3.3	8,0	3,0	31,45 -1,137	12,07 -16,17	10,69 -11,51	22,89 -22,05	-20,05	7,356 -3,077	6,665 -7,207	11,12 -7,11	8,647 -8,494	-60,52
Выемка большой глубины	4.1	2,0	4,0	13,47 -1,731	12,08 -13,39	5,89 -6,146	23,59 -23,96	-16,82	7,521 -8,258	5,94 -5,13	6,716 -10,99	4,754 -6,753	-49,96
	4.2	5,0	4,0	37,41 -9,289	12,72 -13,40	13,27 -17,72	23,71 -24,0	-23,72	13,11 -10,18	6,295 -10,60	18,08 -15,22	11,59 -8,27	-62,17
	4.3	8,0	4,0	45,91 -1,205	11,62 -11,50	15,49 -16,39	22,92 -22,92	-24,26	13,17 -5,109	9,569 -10,59	19,97 -10,55	11,77 -10,9	-67,07

*В числителе даны максимальные положительные, а в знаменателе - максимальные отрицательные значения

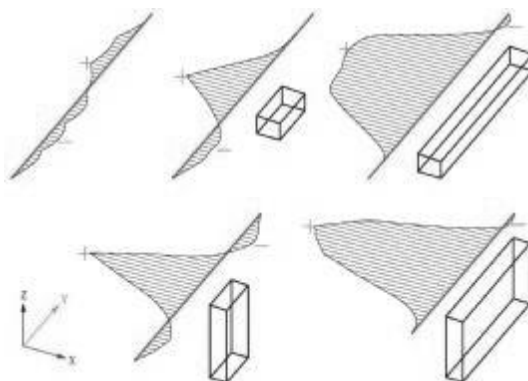


Рис.2. Эпюры изгибающего момента в ростверке в горизонтальной плоскости при отсутствии и наличии повреждений грунтового основания переменной длины глубиной 1 и 4 м

Увеличение максимальной величины поперечной силы в ростверке в горизонтальной плоскости при выемках малой глубины и большой протяженности достигало 5,5 раза, а при глубоких выемках 45,3 раза (табл.1). Пиковые ординаты эпюры наблюдались у краев выемки (Рис.3).

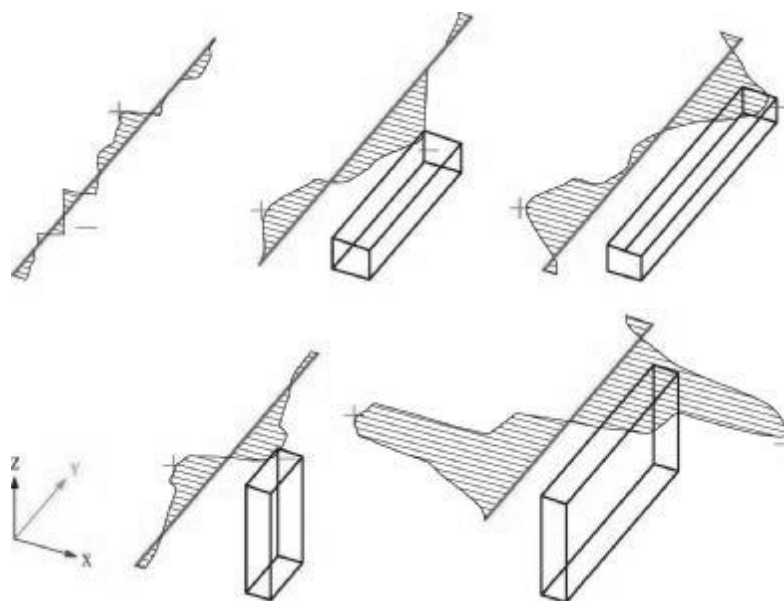


Рис.3. Поперечные силы в ростверке в горизонтальной плоскости при отсутствии повреждений грунтового основания и при наличии повреждений переменной длины глубиной 1 и 4 м

Значительных изменений изгибающих моментов и поперечных сил в ростверке в вертикальной плоскости при увеличении длины и глубины выемки в экспериментах не наблюдалось. Максимальное увеличение продольной силы в ростверке при активизации глубоких повреждений в основании конструкции составило 1,83 раза. Растягивающие усилия в ростверке можно объяснить возникновением распора в грунте между сваями и развитием арочного эффекта в грунтовом массиве выше по склону (рис.4).

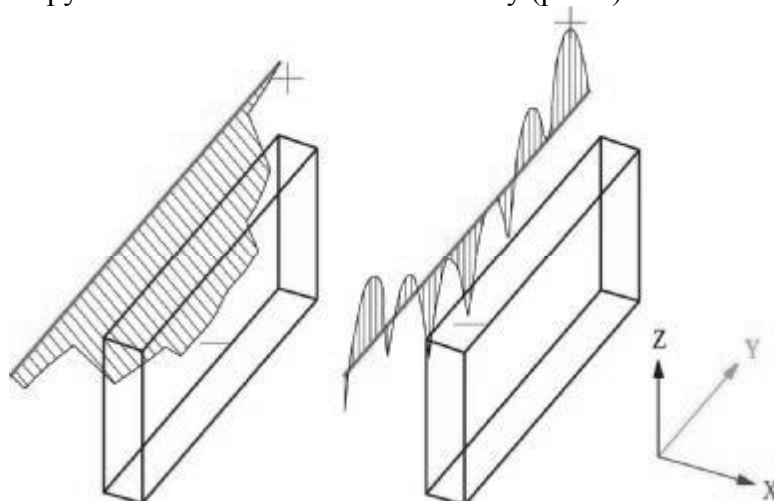


Рис.4. Эпюра продольной и поперечной силы в вертикальной плоскости в ростверке при повреждении основания большой глубины

Исследование величины изгибающих моментов в сваях при выемках малой глубины не выявило существенных изменений ординат и формы эпюр (рис.5). Создание длинных глубоких повреждений в грунтовом основании приводило к трансформации эпюр изгибающих моментов в плоскости «x-z» в сваях у повреждения и перераспределению усилий между сваями. При этом величина максимального изгибающего момента в сваях, расположенных у выемки, возрастала в 23 раза. Значительный уровень изгибающего момента наблюдался на участках у заделки сваи в ростверк и ниже уровня повреждений в

грунте. Изменение характера работы свай у выемки послужило причиной сложного напряженно-деформированного состояния свайного ростверка, возникновения в нем крутящего момента, меняющего по длине конструкции величину и знак.

Увеличение поперечных сил в сваях в плоскости «x-z» происходило лишь при выемках большой глубины и протяженности и сопровождалось изменением знака на отдельных участках (рис.6). Основные трансформации усилий наблюдались в верхней части свай, расположенных у выемки. Увеличение значений максимальной поперечной силы в центральных сваях достигало 11,0 раз.

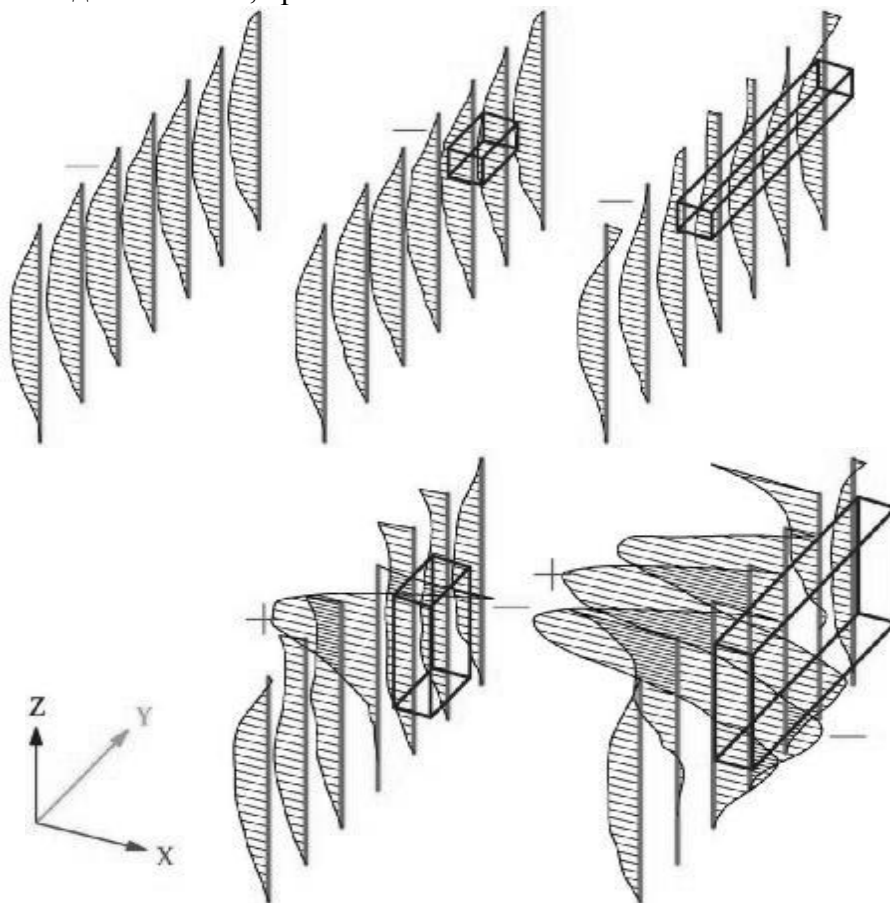


Рис.5. Эпюры изгибающих моментов в сваях при отсутствии выемки и при выемках малой и большой глубины

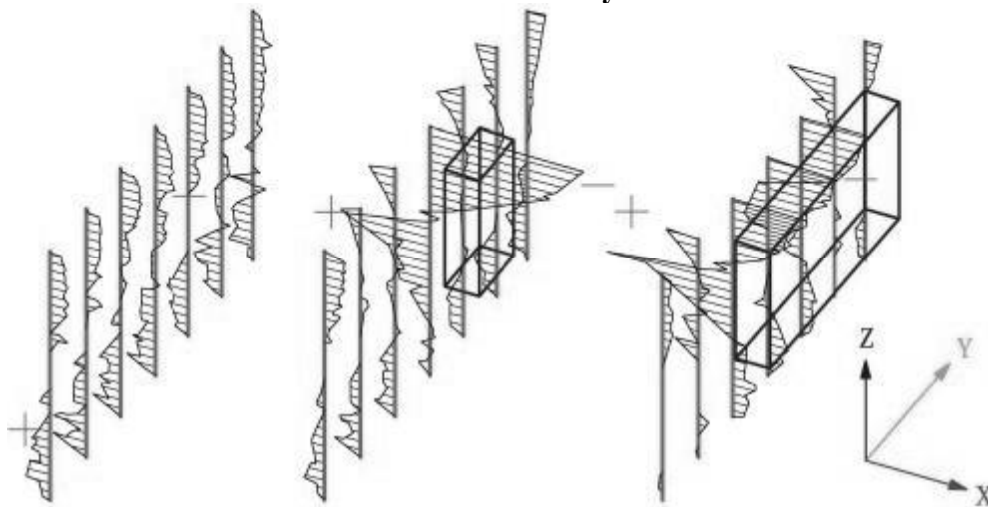


Рис.6. Эпюры поперечных сил в сваях в направлении оси «x» при выемках большой глубины

Усилия в сваях в плоскости «у-z» при выемках малой глубины были незначительными. При организации выемки глубиной 4 м с ростом ее длины происходило увеличение момента в 2,1 раза и поперечной силы в 2,5 раза. Изменение усилий в сваях в плоскости «у-z», а так же характер поля деформаций и распределения нормальных напряжений в горизонтальных плоскостях грунтового массива (рис.7.) свидетельствуют о развитии арочного эффекта в грунте, удерживаемом свайным сооружением. При этом значительная концентрация напряжений в грунтовом массиве наблюдалась у торцов выемки.

Таким образом, живучесть свайных удерживающих конструкций при локальных механических повреждениях грунтового основания в первую очередь зависит от: параметров повреждения (глубины и протяженности), запаса прочности свайного ростверка по нормальным и наклонным сечениям в горизонтальной плоскости и запаса прочности свай, расположенных у повреждения, по нормальным и наклонным сечениям в плоскости «х-z». Учитывая концентрацию усилий в грунте у краев выемки, существенную роль в живучести системы «свайная удерживающая конструкция – основание» играют прочностные и деформационные характеристики основания у повреждения. При возникновении повреждений большой протяженности и глубины возникает риск потери устойчивости грунтового основания и опрокидывания сооружения. При использовании для расчета программного комплекса «Plaxis» расчет в таких случаях заканчивается сообщением «грунтовое тело разрушено».

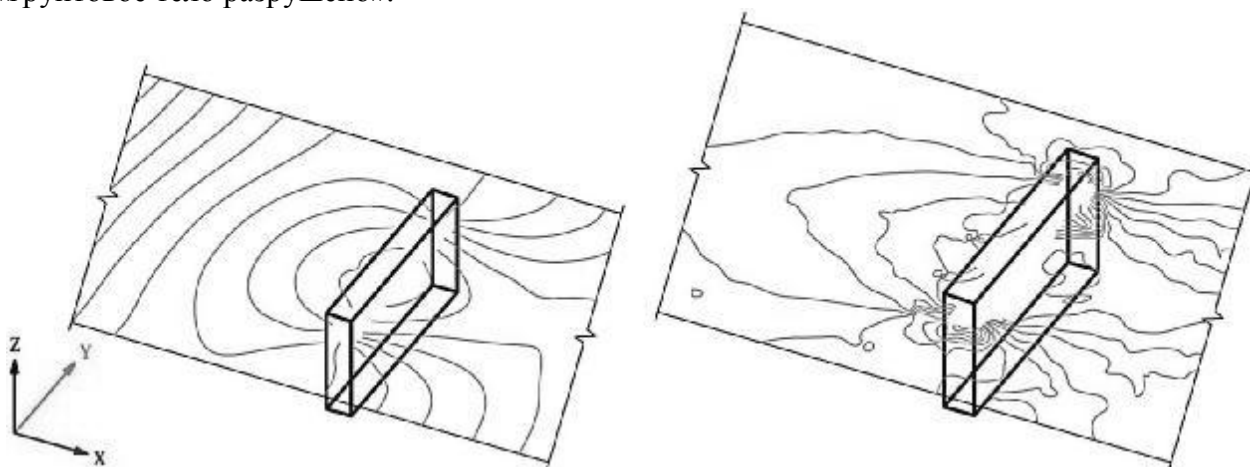


Рис.7. Деформации грунтового массива и поле напряжений в горизонтальной плоскости по оси «х» на глубине 1 м от верха повреждения

Выводы

Возникновение механических повреждений в грунтовом основании перед свайной удерживающей конструкцией, характерных для современных условий их эксплуатации, оказывает существенное влияние на распределение и величину усилий в конструкциях сооружения и грунте. Глубокие протяженные повреждения грунтового основания приводят к принципиальным изменениям в работе конструкций и сооружения в целом с изменением не только величины усилий, но и формы их эпюр.

Живучесть свайных удерживающих конструкций при локальных механических повреждениях грунтового основания в первую очередь зависит от следующих факторов:

- параметров повреждения (глубины и протяженности);
- запаса прочности свайного ростверка в горизонтальной плоскости;
- запаса прочности свай, расположенных у повреждения, в плоскости «х-z»;
- физико-механических характеристик массива грунта и прочностных характеристик грунта основания.

Наиболее уязвимой конструкцией сооружения, существенно влияющей на живучесть системы «свайное удерживающее сооружение - грунт», является свайный ростверк. Даже при неглубоком повреждении основания в нем возникают значительные усилия в основных рабочих плоскостях, а при глубоком повреждении основания - крутящий момент.

Численные исследования в программном комплексе «Plaxis 3D» позволяют моделировать работу системы «свайное удерживающее сооружение - грунт» с повреждениями основания, оценить живучесть системы и разработать мероприятия по ее повышению.

Повышение живучести свайного удерживающего сооружения при рассматриваемых повреждениях основания возможно за счет повышения прочности ростверка в горизонтальной плоскости и на кручение, прочности центральных свай на изгиб и поперечную силу в плоскости «х-z», использования методов улучшения свойств грунтового основания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ДБН В.1.2-14-2009. Общие принципы обеспечения надежности и конструктивной безопасности зданий, сооружений строительных конструкций и оснований.— К.: Минрегионстрой Украины, 2009.— 43 с.
2. Дьяков И. М. Предпосылки и некоторые аспекты применения теории живучести к оценке работы подпорных стен на запредельные нагрузки / И. М. Дьяков // Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов. — Симферополь: НАПКС, 2011. — Вып. 39. — С. 29—34.
3. Дьяков И. М. Оценка живучести свайных удерживающих конструкций / И. М. Дьяков // Строительство, материаловедение, машиностроение. Сб. науч. трудов. — Днепропетровск : ГВУЗ ПГАСА, 2013. — Вып. 69. — С. 169—174.
4. Шаленний В.Т. Охорона праці, технічна та пожежна безпека будівництва і реконструкції об'єктів : Навч. посібник / О. М. Лівінський, А. Д. Єсипенко, В. Т. Шаленний, В. С. Дорофеев, В. І. Москаленко, В. О. Гридякін, А. А. Ковальов, Т. В. Самусь, Г. М. Ковальов, В. М. Гродський. — К. : "МП Леся", 2012. — 440 с.

УДК 624.131.543

МЕХАНИЗМ ПОВЕДЕНИЯ ОПОЛЗНЯ ПЕРЕД И В МОМЕНТ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ РАВНОВЕСНОГО РЕЖИМА

Ефремов А.В.

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

Описаны формы движения оползня после «перескакивания» на другой режим функционирования, сущности и формы катастроф, которые возникают в момент потери оползнем устойчивого равновесия и переход его в активную фазу. Разработаны формулы оценки поведения оползня в трехмерном пространстве.

Оползни, функционирование, катастрофы, устойчивость, равновесие, поведение, трехмерное пространство

ВВЕДЕНИЕ

Перед и в момент потери устойчивости состояния равновесия оползня при воздействии на него внешних и внутренних факторов является наиболее опасным переходом его поведения. В данный момент происходят наиболее серьезные последствия для хозяйственной деятельности и жизни населения, разрушаются хозяйственные постройки, жилье, объекты социальной инфраструктуры, трубопроводы, транспортные сети, электролинии и др.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

К числу авторов, занимающихся вопросами прогнозирования последствий стихийных бедствий с использованием положений теории катастроф в настоящее время следует отнести: Вакарева А.А. и Ушмарского А.Э. [1], рассматривающих проблему прогнозирования последствий стихийных бедствий, аварий и катастроф; Вершинину Т.П. [2], работающую над математической моделью, отражающей закономерности существования объектно-ориентированной подсистемы «Рельеф»; Горбунова С.В. и др. [3], работающих над технологиями прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера; Нечаева Ю.И. [4], работающего над развитием положений теории катастроф; Угненко Е.Б., Тимченко О.Н. [5], разрабатывающих математические модели прогнозирования грунтовых оползней.

ЦЕЛЬ, ЗАДАЧИ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исходя из приведенного анализа предыдущих исследований данной проблемы, целью статьи является описание закономерности поведения оползней непосредственно перед и в момент перехода его с устойчивого режима поведения к активному состоянию.

Задачи:

- раскрыть действие механизма потери устойчивого равновесия режима оползня;
- вывести математическую модель определения пути соскальзывания оползня в момент его перехода в активное состояние;
- определить виды движения оползня после выхода его из состояния покоя в активное состояние;
- обосновать форму колебательного движения оползня после выхода его из состояния покоя;
- предоставить математическую модель описания возникновения и развития катастроф, возникающих в момент потери оползнем равновесного состояния и перехода его в активную фазу.

Методика исследования. В качестве средств исследования приняты: второй закон Ньютона; логический метод описания поведения оползня; метод математического моделирования катастрофических ситуаций в поведении оползня.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Момент потери устойчивости равновесного режима оползня может произойти как от факторов внешнего воздействия – сейсмические и техногенные сотрясения, и внутренних факторов, постепенное изменение которых приводит к изменению соотношения сил сдвига и сил сопротивления сдвигу. Если оползень теряет устойчивый равновесный режим под действием внешних сил, он как бы «срывается» с места, если динамический толчок превышает запас прочности, то в первый краткий период оползень сползает под силой действия сейсмического ускорения.

Такой вид потери устойчивости равновесия называется жестким потому, что здесь система (оползень) со стационарного режима, как бы «перескакивает» на другой режим движения с определенным запасом энергии, созданной сейсмическим «толчком» этот запас иссякает в точке b (рис. 1).

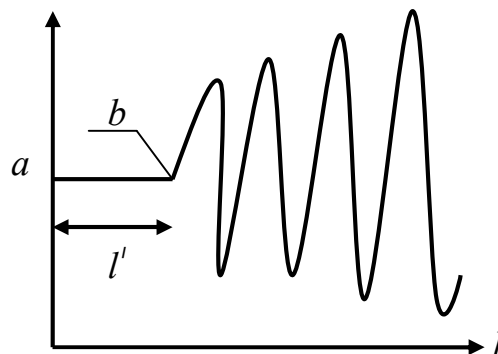


Рис. 1. Жёсткая потеря устойчивости равновесия

После чего, если у оползня достаточный запас сопротивления сдвигу, он снова переходит в состояния покоя, то есть здесь режим активизации произошел по схеме одного из элементов азбуки Морзе (·—), точка – это мгновенная сила абсолютного ускорения, а тире – это путь который «пройдет» оползень под воздействием мгновенной силой сейсмического ускорения. Для лабораторных исследований формулу определения этого пути можно вывести исходя из второго закона Ньютона по правилу разложения сил, действующих на тела, находящиеся на наклонной плоскости [8].

Однако в реальных условиях пройденный путь от сейсмического толчка будет неопределенным, а может движения и не быть. Это зависит от подстилающего слоя пород, по которым «сползает» оползень.

Здесь мы будем знать только одно, что если в результате сейсмического толчка будет нарушен режим устойчивости и поверхность оползня будет без препятствий, оползень после перескакивания на новый режим будет продолжать движение в колебательной форме под собственным весом.

Именно в момент перескакивания оползня со стационарного режима устойчивости происходят все виды катастроф разрушительного характера.

У оползня, теряющего устойчивость равновесного состояния под влиянием внутренних факторов, с момента его перехода из состояния покоя в активное состояние, движение осуществляется под собственным весом с колебательным режимом (рис. 2). Этот вид потери устойчивости называется мягкой потерей, потому что при не большой критичности сил сдвига, такое движение оползня мало отличается от состояния равновесия.

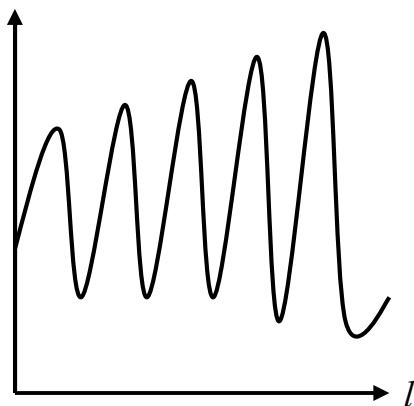


Рис. 2. Мягкая потеря устойчивости равновесия

На рис. 2 показан вид гармоничного колебательного движения. Однако у оползней более сложный вид колебательного движения, при этом достоверно, что при входе оползня в активное состояние он включается в фазу негармонического колебательного движения. Однако виды этого негармонического колебания нам неизвестны.

Касаясь устоявшихся режимов колебательного движения, следует напомнить, что в настоящее время их называют аттракторами, то есть притягивателями, так как они притягивают соседние режимы (переходные процессы). Причем для описания колебательного движения оползней видимо приемлемы странные аттракторы, связанные с турбулентностью с экспоненциально расходящимися фазовыми кривыми.

Существование аттракторов с экспоненциально расходящимися фазовыми кривыми на них и устойчивость такого рода явлений были установлены в самом начале шестидесятых годов прошлого столетия в работах С. Смейла, Д.В. Аносова и Я.Г. Синая [6] по структурной устойчивости динамических систем.

Однако, по мнению указанных авторов, для наиболее адекватного отражения закономерностей колебательного движения оползня является аттрактор, описанный метеорологом Лоренцем в 1963г. [7] в процессе моделирования конвекции аттрактора в трехмерном фазовом пространстве с разбегающимися по нему в разные стороны фазовыми кривыми (рис.3) и указал на связь этого явления с турбулентностью.

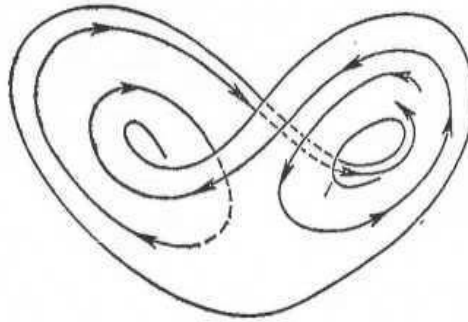


Рис.3. Хаотический аттрактор

Затем в работах Д.В. Аносова и Я.Г. Синая экспоненциальное разбегание было установлено, в частности, для движения материальной точки по поверхности отрицательной кривизны (пример такой поверхности – седло).

Переход оползня на такой режим означает, что в нем наблюдаются сложные непериодические колебания, детали которых очень чувствительны к малому изменению начальных условий, в то время как усредненные характеристики режима устойчивы и не зависят от начального условия (при его изменении в некоторой области), то есть с определенным основанием движение такой системы, можно назвать турбулентным.

Закономерности поведения хаотического аттрактора необходимо учитывать при рассмотрении любого вида катастроф, создаваемых оползнем в процессе перехода к активному состоянию, так как закономерности возникновения всех видов катастроф оползневого характера базируются на теории волнового распределения возмущений воздействия на оползень.

А теперь перейдем к описанию катастроф, которые возникают в момент потери оползнем устойчивого или неустойчивого равновесия и переход его в активную фазу В первую очередь следует отметить, что развитие оползневых процессов и возникновение катастроф будем рассматривать в рамках положений о трехмерном пространстве, где из любой его точки можно мысленно провести три взаимно перпендикулярные прямые, направления, которых определяет три измерения пространства: F_1 – силы старающиеся сдвинуть оползень; F_2 – силы сопротивления сдвигу оползня; Z – отзв на противодействие сил F_1, F_2 .

Здесь три вектора $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{Z}$ линейно независимы потому, что не лежат в одной плоскости. Поэтому будем исходить из общепринятого положения, что в трехмерном пространстве R^3 используется прямоугольная декартова система координат OF_1, OF_2, OZ в которой любая точка M пространства, имеющая координаты F_{1*} (абсциссу), F_{2*} (ординату), и Z' (аппликату), обозначается $M(F_{1*}, F_{2*}, Z')$ (рис.4).

Следовательно, базис R^3 как указано выше представляет собой три упорядоченных линейно-независимых вектора F_1, F_2, Z , не лежащих в одной плоскости, направление которых определяется углами, образованными векторами с осями координат OF_1, OF_2, OZ .

А, учитывая, что здесь векторы линейно независимы и взаимно не пересекаемы, а все функции модели являются линейными, поведение оползня опишем через линейные уравнения.

Для того, чтобы понять закономерности поведения оползня, находящегося в равновесном состоянии, необходимо определить под каким углом к аппликате Z расположена линия срыва OM (линия Максвелла). Это необходимо для построения (в I-м квадранте) линии, показывающей соотношение между точками отзвва (отношения силы сдвига к силе сопротивления сдвигу) к критической точке, расположенной на линии срыва. Следующее – в каком месте на линии срыва располагается критическая точка, и на каком

отрезке по линии $F_2 - M$ отодвигается вправо критическая точка при увеличении резерва устойчивости оползня.

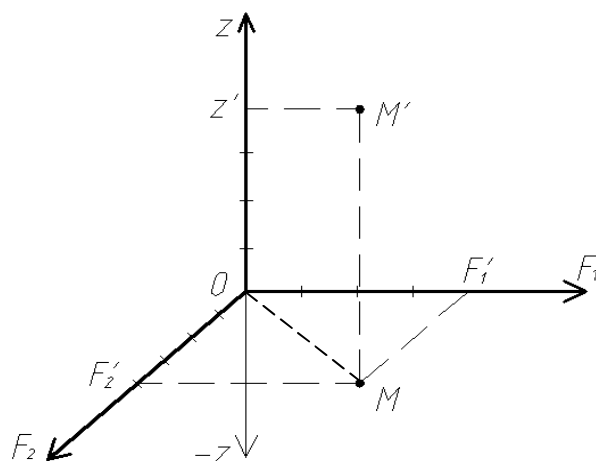


Рис. 4. Схема трехмерного пространства

Здесь мы можем воспользоваться положением основной задачи динамики, раздела механики, в котором изучаются законы поступательного движения тел под воздействием приложенных к ним сил (F, M) как количественной характеристики являющейся мерой интенсивности взаимодействия тел. Эта сила является вектором, задающимся модулем (величиной), направлением и точкой приложения. Линия, вдоль которой направлена указанная сила, называется линией действия силы.

Основная задача динамики, как в общих случаях, так и в приложении к поведению оползней, состоит в определении положения тела в произвольный момент времени по известным параметрам - начальному положению тела, начальной скорости и силам, действующим на тело.

Сказанное выше подтверждается математической моделью, отражающей теоретические закономерности поведения оползней в процессе их перехода в активное состояние, разработанной на основе второго закона Ньютона, который через уравнение движения материальной точки устанавливает связь между действующей на тело силой F и ускорением a , приобретаемым телом под воздействием этой силы. Здесь ускорение ($a = \frac{dv}{dt} = V$) прямо пропорционально действующей силе F и обратно пропорционально массе тела m :

$$a = F/m \quad (1)$$

Отсюда масса тела m , умноженная на ускорение, равна действующей силе:

$$ma = F \quad (2)$$

Уравнение 2 позволяет ввести единицу силы СИ под названием Ньютон N , равную F , то есть, следовательно, Ньютон (Н) – это сила, которая сообщает телу массой 1 кг ускорение 1.

Теперь для решения указанных задач снова воспользуемся системой координат, отражающих трехмерное пространство (рис. 5), где ось F_1 (абсцисса) – отражает величины сил, пытающихся вывести оползень из состояния покоя и перевести его в активную фазу; ось F_2 (ордината) – отражает величину сил, удерживающих оползень в состоянии устойчивого или неустойчивого равновесия; Z (аппликата) – отражает отзыв на поверхности оползня через различные его состояния в зависимости от результатов.

На осях абсциссы и ординаты наносим равные условные отрезки, каждый из которых равен одному Ньютону.

Предполагаем, что в начальном положении оползень находится в режиме устойчивого состояния с запасом устойчивости пяти Ньютон. Из точки 5 ординаты проводим вспомогательную линию (абсциссу $F_1, 5^{tr} - F_1, 1^{tr}$). На которой, так же как и на основной

параллельной оси абсцисс. Из образовавшегося прямоугольного треугольника $f'''-c-b''$ находим величину катета $c-b''$:

$$c-b'' = cf''' \times \operatorname{tg} \alpha = 0,6 \times 0,47 = 0,28 \text{ Ньютон}$$

Вверх же достаточно отложить один отрезок, так как теоретически любое превышение сил сдвига над силами сопротивления сдвига выводит оползень из состояния покоя в фазу активного режима.

ВЫВОДЫ

1. Доказывается, что наиболее опасным периодом поведения оползня является момент потери устойчивости его равновесия. Именно в данный момент, в большинстве случаев, происходят наиболее серьезные последствия для хозяйственной деятельности и жизни населения.
2. Обосновывается положение о том, что «движение» оползня подчиняется закону турбулентности.
3. Утверждается, что описание закономерности поведения оползня в момент «перескакивания» на другой режим функционирования возможно в трехмерном пространстве через комплекс линейных уравнений эти уравнения разработаны и апробированы.
4. Описан механизм возникновения катастроф.

В перспективе исследования данной проблемы автор намерен описать виды возникающих катастроф в процессе оползневой деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вакарев А.А. Специфика прогнозирования последствий стихийных бедствий, аварий и катастроф в современных условиях/А.А. Вакарев, А.Э. Ушамирский// Фундаментальные исследования. – 2006. – №10. – С. 93-95.
2. Вершинина Т.П. Объектно-ориентированная модель подсистемы «Рельеф» ГИС геодиагностики территории // Вестник Адыгейского государственного университета. – сер. 4: Естественно-математические и технические науки, 2008. – №4. – С. 21-28.
3. Горбунов С.В. Анализ технологий прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера / С.В. Горбунов, Ю.Д. Макиев, В.П. Малышев // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования, 2011. – №1. – С. 17-23.
4. Нечаев Ю.И. Теория катастроф: современный подход при принятии решений / Ю.И. Нечаев. – СПб.: Арт-Экспресс, 2011.
5. Угненко Е.Б. Математическая модель прогнозирования возникновения грунтовых оползней / Е.Б. Угненко, О.Н. Тимченко // Вестник ХНАДУ – 2010. – №49. – С. 49-56.
6. Аносов Д.В. Некоторые гладкие эргодические системы / Д.В. Аносов, Я.Г. Синай // Успехи математической науки. – 1967. – Т. 22. – Вып. 5. – С. 107-172.
7. Lorenz E.N. Deterministic nonperiodic flow // J. Alomos Sci. – 1963. – V. 20. – P. 130-141.
8. Ефремов А.В. Математическая модель поведения оползней / А.В. Ефремов, А.Б. Пушкарев, В.Н. Титаренко // Строительство и техногенная безопасность: сб. науч. тр. – Симферополь: НАПКС, 2013. – Вып. 45. – С. 75-81.

УДК 534.4.019.1

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ БАКОВ С ЖИДКИМ НАПОЛНИТЕЛЕМ

Кузьмина Ю.С., Чемодуров В.Т.

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

В статье приводится краткий обзор причин, приводящих к динамическому нагружению цилиндрических корпусов нефтехранилищ. Разработаны модели реакции

цилиндрической оболочки на сдвиг основания цилиндрического бака и потерю устойчивости его оболочки при действии ударной волны воздушного взрыва. Обосновывается модель движения грунта при сейсмическом воздействии. Актуальность исследования диктуется обеспечением экологической безопасностью окружающей среды при повреждении сооружений, содержащих веществ с высокой энергонасыщенностью.

Устойчивость, нестационарное давление, изгибные формы потери устойчивости, динамические нагрузки, присоединенная масса

ВВЕДЕНИЕ

Повышение безопасности эксплуатации, а, следовательно, и экологической безопасности при разрушении энергонасыщенных объектов всегда было одним из ведущих мотивов в деятельности людей. Интенсификация научно – технического прогресса на первое место ставит проблемы безопасности, надежности и живучести техники и оборудования.

Анализ причин и хода развития происшествий и аварий показывает, что независимо от времени, типа производства и региона (если отвлечься от конкретных технических деталей) процессы разрушения топливных баков подчиняются определенным закономерностям. С целью предотвращения опасных состояний объектов, особенно энергонасыщенных, необходимо тщательно анализировать и проигрывать сценарии возникновения и развития возможных аварийных ситуаций в чрезвычайных ситуациях.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

6 июня 2004 года в ставропольском крае на нефтебазе произошел взрыв. Бомба была заложена под одной из нефтяных цистерн. Рядом, под другой цистерной, было найдено еще одно взрывное устройство, которое не сработало. Прокуратура возбудила уголовное дело по статье «Терроризм».

После взрыва начался сильный пожар. В емкости образовалось отверстие диаметром около полуметра, из которого стала вытекать нефть. Столб дыма, поднимавшийся с места пожара, был виден в Нефтекумске.

На месте взрыва произошел разлив нефти на территории 500 кв.м. некоторое время существовала опасность взрыва нефтяных паров, скопившихся в верхней части цистерны.

Значительного растекания нефтепродуктов удалось избежать благодаря тому, что вокруг цистерны был ров.

Благодаря оперативности саперов чудом удалось избежать второго взрыва.

Однако в пресс-службе УВД Ставрополя версию о теракте не подтвердили. По словам начальника пресс-службы, на нефтебазе взорвались выстрелы для подствольного гранатомета. Для теракта это слишком простые и маломощные боезаряды.

Ханты-Мансийск, 23 августа 2009 год. Возгорание на территории нефтехранилища в Югре. При тушении резервуар разрушился с последующим разливом нефти, что привело к возгоранию еще двух резервуаров.

Причиной возгорания на станции стало попадание в один из резервуаров с нефтью молнии.

11 декабря 2005 года серия взрывов прогремела на нефтяном терминале «Бансфилд» на северной окраине Лондона.

Сильный грохот жителей северных окраин Лондона разбудил в 6 утра. Как позже выяснилось, произошел взрыв на крупнейшем нефтехранилище «Бансфилд», которое снабжает горючим аэропорты «Лутон» и «Хитроу». Через 20 минут последовали еще два взрыва, причем такой мощности, что их было слышно в радиусе 40 километров. Потом начался пожар. Одной из версий катастрофы считается теракт.

11 марта 2011 года на нефтехранилище компании CosmoOil в городе Ликихара, в пригороде японской столицы, произошел сильный взрыв. Взметнувшиеся языки пламени достигали в высоту 30 метров.

Взрыв случился после того, как до Токио докатились подземные толчки от землетрясения, потрясшего северо-восток страны. После того, как в тихом океане на глубине

10 километров произошло землетрясение силой почти девять баллов, цунами высотой десять метров захлестнуло город Камаиси в префектуре Ивате на северо-востоке главного японского острова Хонсю.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

Целью настоящего исследования является разработка математического аппарата для оценки прочности и устойчивости цилиндрических корпусов хранилищ энергонасыщенных жидкостей при действии динамических нагрузок.

Из всего многообразия возможных динамических нагрузок, действующих на строительные конструкции, будут рассмотрены нагрузки от сейсмического воздействия при движении грунтов в процессе землетрясений и нагрузки от ударной волны воздушного взрыва в случаях, непредвиденных при проектировании и строительстве конструкций данного типа.

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

Метод исследования включает в себя обзор работ по исследованию реакций тонкостенных цилиндрических объектов на динамическую нагрузку, изучение причин существующих аварийных ситуаций, а также параметров физических процессов, приводящих к разрушению топливных хранилищ. При разработке методики оценки аварийных ситуаций предлагается новый подход к моделированию сейсмического воздействия на конструкцию. Реакция конструкции на импульсную нагрузку определяется с учетом движения жидкости при ее движении.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Реакция системы цилиндрическая оболочка – жидкость при сейсмическом воздействии.

Для оценки реакции конструкции топливного бака на сейсмическую нагрузку необходимо принять модель этой нагрузки. В настоящее время сейсмическое воздействие задается в виде ускорения поверхности, соответствующего определенной бальности землетрясения. В данном исследовании предлагается модель сейсмического сигнала, основанная на теории случайных функций.

При этом основной задачей здесь является выбор волнового процесса. Его корреляционной функции и спектральной плотности. Тогда ординаты частиц поверхности грунта в заданном направлении рассчитываются как сумма элементарных гармоник.

$$x_B = \sum_{i=0}^{\infty} (u_i \cos \omega_i t + v_i \sin \omega_i t) \sigma_i \quad (1)$$

В этих формулах u_i , v_i – случайные величины с нормальным нормированным распределением, у которых математические ожидания равны нулю, а дисперсия – единице; σ_i – среднее квадратичное отклонение амплитуды для частоты i -ой гармоники ω_i .

В данном случае рассматривается спектральная плотность процесса $s(\omega_i)$ для ряда дискретных значений ω_i . Каждому значению частоты ω_i соответствует дисперсия i -ой элементарной волны:

$$\sigma_i^2 = D_B s(\omega_i) \Delta \omega \quad \sigma_i = \sigma_B \sqrt{s(\omega_i) \Delta \omega} \quad (2)$$

Здесь D_B – дисперсия процесса, $\Delta \omega$ – рассматриваемый интервал частот.

Скорости и ускорения частиц грунта рассчитываются по формулам:

$$\left. \begin{aligned} v_e = \dot{x}_e &= \sum_{i=1}^n (-u_i \sin \omega_i t + v_i \cos \omega_i t) \omega_i \sigma_i, \\ \dot{v}_e = \ddot{x}_e &= -\sum_{i=1}^n (u_i \cos \omega_i t + v_i \sin \omega_i t) \omega_i^2 \sigma_i \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Здесь бесконечный ряд гармоник заменен на их конечное значение, так как дисперсия элементарных волн при больших частотах стремится к нулевому значению.

Рассматриваются колебания оболочки в цилиндрической системе координат (x, r, θ) . Ось x совмещается с осью оболочки. Оболочка – обечайка резервуара, внутренняя

поверхность которого находится в контакте с жидкостью. Снизу жидкость ограничена жестким дном, сверху – свободной поверхностью (рис.1).

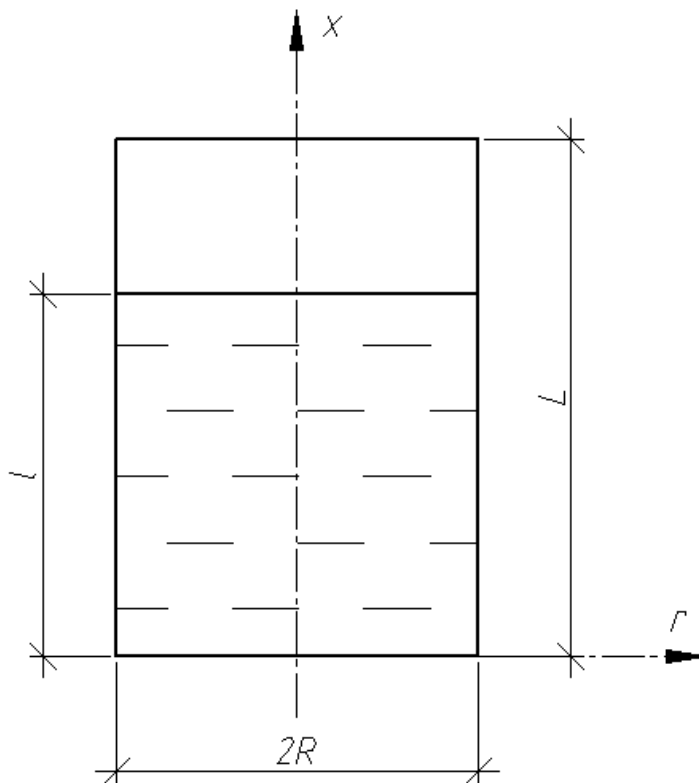


Рис. 1. Расчетная схема цилиндрической оболочки с наполнителем

Осевые силы, действующие на оболочку, отсутствуют. Пусть h и R – толщина и радиус сечения оболочки; L – ее длина; l – столб жидкости; w – радиальное смещение оболочки ($w > 0$ – при ее смещении внутрь); E, μ – модуль упругости и коэффициент Пуассона оболочки; φ – потенциал скорости жидкости; ρ_0, ρ – плотность материала оболочки и жидкости.

Запишем уравнение движения системы:

$$\frac{Ehw}{R^2(1-\mu^2)} = p_{\text{внутр}} + p_{\text{внешн}} \quad (4)$$

Здесь $p_{\text{внутр}}$ – инерционное воздействие жидкости на оболочку, $p_{\text{внешн}}$ – внешнее воздействие.

В формуле (4) потенциал скорости φ удовлетворяет уравнению Лапласа

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = 0. \quad (5)$$

с граничными условиями:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \varphi}{\partial r} - \dot{w} \quad \text{при} \quad r = R, x \in [0, l], \\ \frac{\partial \varphi}{\partial x} = 0 \quad \text{при} \quad x = 0, \\ \varphi = 0 \quad \text{при} \quad x = l. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Представим прогиб оболочки разложением в ряд Фурье:

$$w = a_0 + \sum_{s=1}^{\infty} a_s \cos \frac{s\pi x}{l} + \sum_{s=1}^{\infty} b_s \sin \frac{s\pi x}{l}. \quad (7)$$

Рассмотрим отдельные составляющие движения оболочки.

При равномерном обжатии согласно уравнению сплошности для несжимаемой жидкости имеем:

$$\pi R^2 \left(v + \frac{\partial v}{\partial x} dx - v \right) = 2\pi R \dot{w} dx.$$

Или
$$dv = \frac{\dot{w}}{R} dx \quad (8)$$

Уравнение движения жидкости в форме Эйлера имеет вид:

$$\rho \frac{dv}{dt} = \frac{dp}{dx} \quad (9)$$

Дифференцируем (8) по времени и интегрируем по координате x:

$$\dot{v} = \frac{\ddot{w}}{R} x \quad (10)$$

Далее (10) подставим в (9) и проинтегрировав по координате x получим:

$$p = \rho \frac{\dot{w} x^2}{2R} + p_0.$$

При $x = l$ $p_0 = 0$. Тогда

$$p = \rho_m \frac{\dot{w}}{2R} (x^2 - l^2). \quad (11)$$

Рассмотрим другие формы колебаний. Присоединенная масса жидкости для бесконечно длинной оболочки зависит от волнового числа $\omega = \frac{s\pi}{l}$

$$m_n = \frac{\rho_m}{\omega f(\omega\beta)} = \frac{\rho_m I_0(\omega R\beta)}{\omega I_1(\omega R\beta)}. \quad (12)$$

Здесь $I_0(\cdot)$, $I_1(\cdot)$ – модифицированные функции Бесселя. Для несжимаемой жидкости $\beta = 1$, тогда:

$$m_n = \frac{\rho}{s\pi} \frac{I_0\left(\frac{s\pi R}{l}\right)}{I_1\left(\frac{s\pi R}{l}\right)} \quad (13)$$

В этом случае инерционное воздействие жидкости на оболочку по изгибным формам можно записать в вид:

$$\left. \begin{aligned} p' &= \sum_{s=1}^{\infty} \ddot{a}_s \cos \frac{s\pi x}{l} \rho_m \frac{l}{s\pi} \frac{I_0\left(\frac{s\pi R}{l}\right)}{I_1\left(\frac{s\pi R}{l}\right)}, \\ p'' &= \sum_{s=1}^{\infty} \ddot{b}_s \sin \frac{s\pi x}{l} \rho_m \frac{l}{s\pi} \frac{I_0\left(\frac{s\pi R}{l}\right)}{I_1\left(\frac{s\pi R}{l}\right)}. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

В окончательном виде выражение для внутреннего силового воздействия жидкости на оболочку примет вид:

$$p_{\text{внутр}} = \ddot{a}_0 \frac{\rho_m}{2R} (x^2 - l^2) + \sum_{s=1}^n \ddot{a}_s \rho_m \frac{l}{s\pi} \frac{I_0\left(\frac{sR\pi}{l}\right)}{I_1\left(\frac{sR\pi}{l}\right)} \cos \frac{s\pi x}{l} + \sum_{s=1}^n \ddot{b}_s \rho_m \frac{l}{s\pi} \frac{I_0\left(\frac{sR\pi}{l}\right)}{I_1\left(\frac{sR\pi}{l}\right)} \sin \frac{s\pi x}{l} \quad (15)$$

Далее, преобразуя уравнение (4) с учетом (15) по методу Бубнова-Галеркина, получим систему обыкновенных дифференциальных уравнений для определения перемещения оболочки:

$$A\ddot{w} + CW = F \quad (16)$$

Первоначально, для оценки внутренних усилий оболочки топливного бака учтем лишь один член в разложении $w=a_0(t)$. В этой постановке уравнение колебаний оболочки сводится к виду:

$$(\rho_0 L + m^*)\ddot{w} + \frac{Eh}{R^2(1-\mu^2)}w = \rho R \dot{v}_s. \quad (17)$$

Приведенная масса жидкости при осесимметричном обжатии:

$$m^* = \frac{2}{3} \rho_m \frac{l^2}{R}. \quad (18)$$

Рассмотрим процессы потери устойчивости круговой цилиндрической оболочки под действием ударной волны воздушного взрыва. На потерю устойчивости влияют: давление в ударной волне, длительность ее воздействия, длина оболочки, силы инерции внутреннего наполнения.

Постановка задачи: шарнирно закрепленная цилиндрическая оболочка подвергается внешнему давлению, равномерно распределенному по ее поверхности. Изменение давления во времени задается в форме треугольника или в экспоненциальной форме (рис.2.).

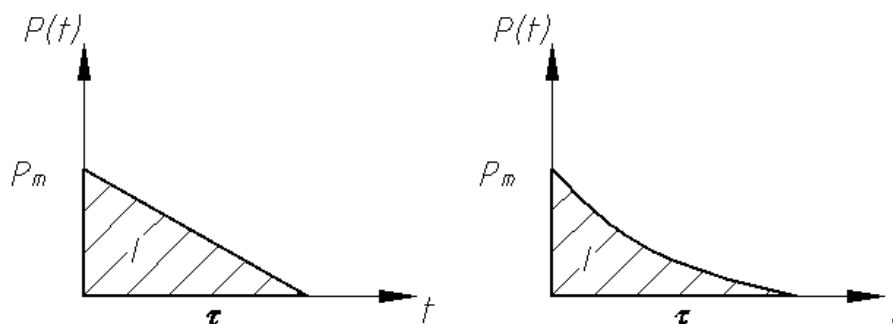


Рис. 2. Модель ударной волны

Во втором случае $p(t) = p_m e^{-t/\tau}$.

Важной задачей в исследовании динамических процессов является выбор расчетной модели, схематизирующей реальный объект. Удачный выбор расчетной модели во многом определяет успех исследования. Модель должна быть по возможности простой, но в тоже время должна отражать основные свойства реального объекта.

Рассмотрим модель потери устойчивости оболочки бака в упругой области его деформаций.

Уравнения движения гладкой цилиндрической оболочки в рамках линейной постановки имеет вид:

$$\frac{D}{h} \nabla^8 w + \frac{E}{R^2} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + p(t) \frac{R}{h} \nabla^4 \left[\frac{1}{R^2} \frac{\partial^2 (w + w_n)}{\partial \theta^2} \right] + \left(\rho + \frac{m_n}{h} \right) \frac{\partial^2}{\partial t^2} \nabla^4 w = 0. \quad (19)$$

Здесь: $D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}$ – цилиндрическая жесткость; w_n и w – начальный и текущий

прогиб оболочки; $p(t)$ – внешнее воздействие; $m_n = \frac{\rho R}{n}$ – присоединенная масса жидкости, определяется по теории длинных волн; n – число волн потери устойчивости.

Формы динамического и начального прогибов зададим следующими зависимостями:

$$\begin{aligned} w &= w_0 + w_n \text{Sin}(kx) \text{Cos}(n\theta), \\ w_n &= w_{n0} \text{Sin}(kx) \text{Cos}(n\theta). \end{aligned} \quad (20)$$

Здесь: $k = \pi/l$; θ – угловая координата.

В формуле (19) внешнее давление выражается через радиальное обжатие оболочки:

$$p(t) = \frac{Eh}{R^2} w_0 \quad (21)$$

Интегрируя (19) с учетом (20) по методу Бубного-Галеркина получим:

$$\begin{aligned} a_0 \dot{w}_0 + c_0 w_0 &= p(t), \\ a_n \ddot{w}_n + (c_n - b_n w_0) w_n &= b_n w_0 w_{n0}. \end{aligned} \quad (22)$$

Выражения для коэффициентов в уравнениях (22) имеют вид:

$$\begin{aligned} a_0 &= \rho h + m_0^*, \\ c_0 &= \frac{Eh}{R^2}, \\ a_n &= \left(\rho + \frac{R}{nh} \rho_m \right) \left(k^2 + \frac{n^2}{R^2} \right)^2, \\ b_n &= \frac{E}{R^3} n^2 \left(k^2 + \frac{n^2}{R^2} \right)^2 \\ c_n &= \frac{D}{h} \left(k^2 + \frac{n^2}{R^2} \right)^4 + \frac{E}{R^2} k^4. \end{aligned} \quad (23)$$

Для исследования динамической устойчивости оболочек удобно модель (22) привести к безразмерному виду. При этом принимаем следующие основные физические величины с независимой размерностью Eh/R^2 , ρ , R .

В этом случае уравнения (22) и (23) примут вид:

$$\left. \begin{aligned} a_0 \ddot{\bar{w}}_0 + c_0 \bar{w}_0 &= \bar{p}(t), \\ a_n \ddot{\bar{w}}_n + (c_n - b_n \bar{w}_0) \bar{w}_n &= b_n \bar{w}_0 \bar{w}_{n0}. \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

$$\left. \begin{aligned} a_0 &= \bar{h} + \frac{m_0^*}{\rho}, \\ c_0 &= 1, \\ a_n &= \left(1 + \frac{m_0^*}{\rho n \bar{h}} \right) n^4 \left(1 + \frac{\pi^2}{4 \bar{l}^2 n^2} \right)^2, \\ b_n &= \frac{n^6}{\bar{h}} \left(1 + \frac{\pi^2}{4 \bar{l}^2 n^2} \right)^2, \\ c_n &= \frac{\bar{h}^2 n^8}{12(1 - \mu^2)} \left(1 + \frac{\pi^2}{4 \bar{l}^2 n^2} \right)^4 + \frac{\pi^4}{16 \bar{h} \bar{l}^4}. \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

Выводы

В работе разработаны две математические модели деформирования цилиндрической оболочки топливного бака. Анализ первой модели строится на основе определения напряжений в обечайке при ее изгибе.

Анализ второй модели целесообразно проводить на критическую нагрузку, которая определяется из выражения (22).

При этом число волн потери устойчивости находится из уравнения. То есть при достаточно больших значениях ω_n (осесимметричное обжатие) коэффициент при ω_n становится отрицательным. Следовательно, решение теряет колебательный вид и имеет характер гиперболической функции. При этом решение имеет экспоненциальное возрастание, то есть возможность потери устойчивости.

Цель дальнейших исследований будет заключаться в численном анализе потери устойчивости и прочности конкретного топливного бака на сейсмическую и ударную нагрузку.

Полученные результаты построения математических моделей колебания цилиндрической обечайки с жидкостью при внешнем воздействии актуальны и имеют практическую значимость при оценке условий живучести топливных баков, содержащих отравляющие и воспламеняющиеся вещества, отрицательно сказывающиеся на экологическую ситуацию районов их размещения в аварийных ситуациях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вольмир А.С. Нестационарная динамика пластинок и оболочек /Вольмир А.С.// Наука, М. 1972. — 510 с.
2. Кармишин А.В. Нестационарная аэроупругость конструкций /Кармишин А.В., Скурлатов Э.Д., Старцев В.Г., Фельдштейн В.А.// Машиностроение, М. 1982.— 182 с.
3. Перцев А.К. Динамика оболочек и пластин /Перцев А.К., Платонов Е.Г.// Судостроение, Л. 1987.— 318 с.

РАЗДЕЛ 5.

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО И ГРАЖДАНСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

УДК 69.059.25

РАСШИРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АЛМАЗНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РЕЗКИ КОНСТРУКЦИЙ ПУТЕМ ЕГО МОНТАЖА НА СРЕДСТВАХ ПОДМАЩИВАНИЯ

Шаленный В.Т., Покотило Д.С.

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

Реконструкция, демонтаж зданий и сооружений является неотъемлемой частью строительного процесса. Поэтому технологические методы такого производства работ непрерывно совершенствуются, появляются высокопроизводительные, менее трудоёмкие механизмы. Весьма перспективными и эффективными, в настоящее время, являются технологии с применением алмазного оборудования. Изучение технологий алмазного резания позволили выделить ряд преимуществ, что повлекло за собой усовершенствование и развитие их технологических возможностей путём применения инвентарных пространственных лесов и новых крепёжных приспособлений.

Демонтажные работы, алмазное оборудование, инвентарные пространственные леса, крепёжные приспособления, полезная модель

ВВЕДЕНИЕ

Как правило, реконструкция либо демонтаж зданий проводится в условиях повышенной стесненности, что не позволяет использовать оптимальные высокопроизводительные комплексы строительных машин и механизмов. Это обстоятельство требует разработки новых методов производства работ, организационно-технологических решений с привлечением специальной техники и технологий. В этом направлении, дальнейшее развитие получают современные алмазные технологии, но они должны быть приспособлены к конкретным специфичным условиям реконструктивных работ.

Так же следует учитывать тот фактор, что при выполнении работ не следует забывать об экологических требованиях, предъявляемых к строительным работам и самим методам их производства. Алмазные технологии, в отличии от традиционных методов, минимизируют уровень шума, пыли и вибрационные воздействия, а также разброс материалов. Демонтажные работы так же должны предусматривать будущую утилизацию и вторичное использование продуктов разборки [5].

До сих пор, в процессе выполнения демонтажных работ, значительную долю занимает ручной труд, в особенности в случаях применения гидравлических ударных механизмов, при этом под воздействием опасных производственных и вредных факторов [4] часто страдают рабочие. Технологии с применением алмазного оборудования позволяют выполнять работу дистанционно на безопасном расстоянии.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Реализация идей и развитие технологии алмазной резки становятся возможными исключительно благодаря внедрению новейших технологий, кардинально улучшающих экономику, позволяющих сделать то, что раньше казалось сложным или невыполнимым. Известная в Украине киевская фирма «Севитол» предлагает широкий спектр настенных пил HYDROSTRESS, которые представляют собой модульную настенную систему, состоящую из направляющей стойки, головки с гидроприводами и компактной электрогидравлической масляной станции.

Обычно настенная пила (дисковая или цепная) крепится на бетонную стену или перекрытие специальными алюминиевыми или стальными башмаками в предварительно образованных для этого отверстиях. Пила предназначена для алмазного резания

железобетона толщиной до 1,5 метра. На головке пилы закрепляют диски для резки стен. Пила может иметь диски разного диаметра от 700 до 1600 мм (максимально возможный диаметр 2200 мм). Сегодня в Украине работают более 50 комплектов оборудования, проданных только этой фирмой за последние 10 лет, они способны еще долгие годы функционировать. Данная технология имеет относительно узкий спектр применения потому, что предназначена только для выполнения отверстий и проёмов в стенах, полах, перекрытиях [3].

В работе [1] для образования разреза в стене предусматривается установка вдоль контура будущего разреза рам усиления, их включают в работу винтовыми домкратами. Далее устанавливают на эти рамы оборудование для разрезания материала стены с дисковой алмазной пилой на направляющих. Однако данный способ образования прореза в стене не позволяет выполнять разрез меньшей высоты, чем максимальная.

Позже запатентованный метод [2] предназначен для безопасного демонтажа горизонтальных элементов (балок, ригелей). Он основан на предварительной установке рамного каркаса с винтовыми домкратами (вильчатыми оголовками) под демонтируемую конструкцию. Рамный каркас включают в работу винтовыми домкратами через горизонтальные поддерживающие балки (Н-20) и на нём же устанавливаются направляющие алмазной пилы. Основным недостатком этого способа является то, что фиксация направляющей алмазной пилы не позволяет оперативно изменять угол реза. То есть, технологические возможности данного способа также ограничены и не позволяют легко и быстро настраивать гидравлическое оборудование на разные углы наклона пилы.

Чтобы совместить технологические процессы временного закрепления, производства резки и удаления частей разрезанных конструкций ранее нами также было предложено смонтировать алмазное гидравлическое оборудование на вилах автопогрузчика с использованием его маслостанции для привода пилы [6]. Однако, в результате технико-экономического сравнения различных вариантов технологий разборки, оказалось, что использование серийного автопогрузчика для резки и удаления отрезанных частей намного дороже (примерно в два раза) чем использование комплекта в составе инвентарных лесов для фиксации частей конструкции, алмазной пилы для ее разрезания и автокрана для удаления и погрузки на транспорт. Поэтому и было принято решение о дальнейшем совершенствовании именно системы механизации работ по резке конструкций на базе инвентарных средств подмащивания с возможностью монтажа и перестановки по ним распространенного и эффективного алмазного оборудования с гидроприводом.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель - повышение эффективности выполнения работ, улучшение качества, упрощение технологии выполнения подготовительных работ и усовершенствование возможных способов по разборке конструкций с применением алмазного оборудования. Для чего решались нижеследующие задачи:

- анализ состояния вопроса по научно-технической и патентной литературе;
- расширить технологические возможности выполнения работ по разрезанию элементов расположенных на высоте, как в горизонтальном, так и в вертикальном и наклонном положении; Для чего нужна была разработка и патентование нового крепёжного приспособления для крепления направляющей к строительным лесам;
- оценить эффективность и рекомендовать эту технологию для последующего распространения в качестве наиболее целесообразного в определенных условиях.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для решения поставленных задач использовались общетеоретические методы, такие как: анализ, синтез и сравнение. Используются работы в области технологии и организации строительного производства, экономики и управления строительством.

Для формирования предложений по разработке и использованию нового способа разборки строительных конструкций с использованием алмазного инструмента, применялись следующие методы исследований:

- анализ существующих технологических методов разборки.
- анализ новых технологий предлагаемых потребителю.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

В результате многовариантного эскизного проектирования, для расширения технологических возможностей и усовершенствования способа разрезания конструкций, а также повышения надёжности и точности регулирования алмазного оборудования на инвентарных пространственных лесах было предложено новое крепёжное приспособление. Это – разъемный конусный шарнир с прижимным винтовым приспособлением, изображённый на рис.1. На рис.2 изображён общий вид оборудования для реализации способа в процессе выполнения разреза. На рис.3 показан один из вариантов выполнения разреза под углом.

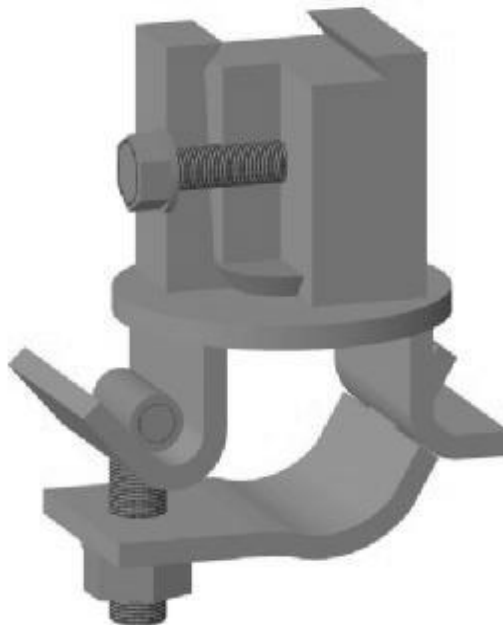


Рис.1. Конусный шарнир с прижимным винтовым приспособлением

Данное приспособление является синтезом двух существующих крепёжных узлов, используемых в разных вариантах известных средств подмащивания и алмазного оборудования. За основу была взята «Разворачивающаяся опора V-рельса» фирмы TYROLIT. В качестве инвентарных пространственных лесов были применены опорные леса «Staho 100» фирмы DOKA, на которых и предполагалось размещение направляющих для алмазной пилы с гидроприводом.

Способ разрезания конструкции 1 с помощью предварительно установленных под ней инвентарных пространственных лесов 2 выполняют следующим методом. Эти леса 2 имеют винтовые домкраты 3 в нижней и верхней частях. Верхние домкраты 4 имеют вильчатый оголовок, в который устанавливают горизонтальные поддерживающие балки 5. Эти балки 5 подводят снизу под конструкцию 1, а дальше, с помощью домкратов 4, поднимают до поддержки этой конструкции 1. На лесах 2 монтируют дополнительную трубу 6, с помощью хомутов 7. После чего, с помощью конусных шарниров 8, монтируют направляющую 9 алмазной пилы 10 на дополнительную трубу 6. Теперь возможен процесс разрезания конструкции 1. Он выполняется за счёт вращения и подачи диска 11 алмазной пилы 10 как по вертикальной направляющей 9, так и в направлении конструкции 1 с помощью маятникового механизма пилы 10 с дистанционным управлением процессом. Отсоединив разрезанием часть конструкции 1, она останется в неподвижном состоянии. Теперь аналогично возможно выполнить следующие операции. Отрезанную конструкцию подъемно-транспортным оборудованием убирают с места работ.

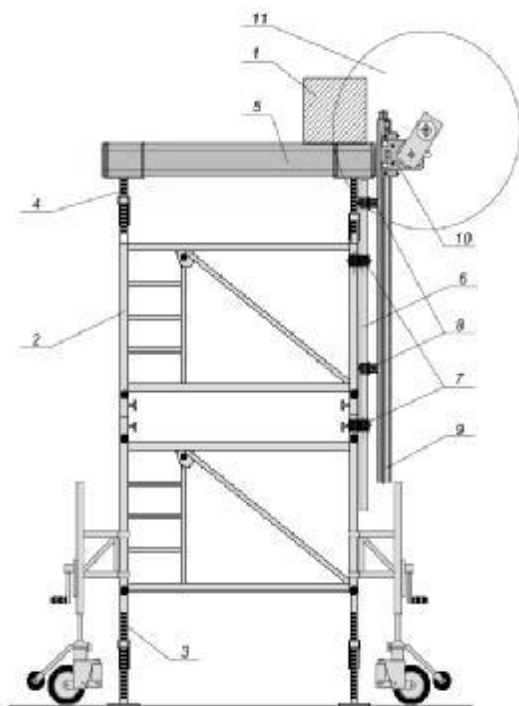


Рис.2. Общий вид оборудования для реализации способа в процессе выполнения вертикального разреза

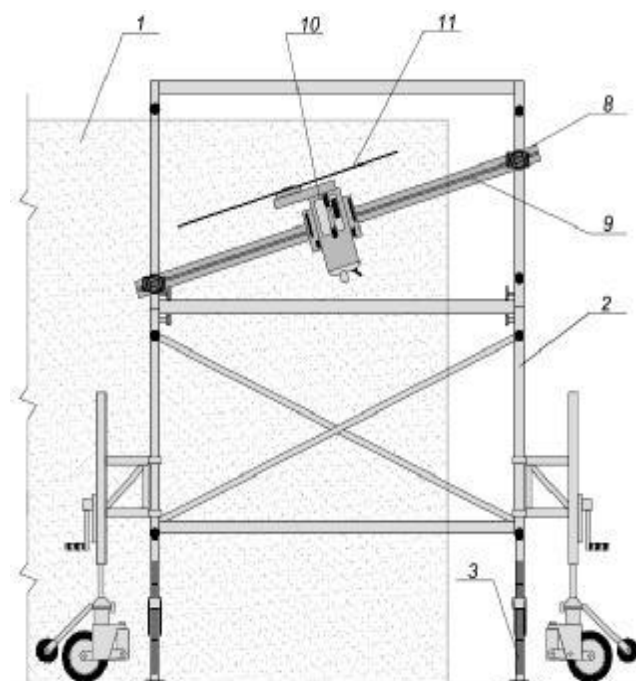


Рис.3. Выполнение разреза под углом

Способ разрезания конструкции 1 с помощью предварительно установленных под ней инвентарных пространственных лесов 2 выполняют следующим методом. Эти леса 2 имеют винтовые домкраты 3 в нижней и верхней частях. Верхние домкраты 4 имеют вильчатый оголовок, в который устанавливают горизонтальные поддерживающие балки 5. Эти балки 5 подводят снизу под конструкцию 1, а дальше, с помощью домкратов 4, поднимают до поддержки этой конструкции 1. На лесах 2 монтируют дополнительную трубу 6, с помощью хомутов 7. После чего, с помощью конусных шарниров 8, монтируют направляющую 9 алмазной пилы 10 на дополнительную трубу 6. Теперь возможен процесс разрезания конструкции 1. Он выполняется за счёт вращения и подачи диска 11 алмазной пилы 10 как по вертикальной направляющей 9, так и в направлении конструкции 1 с помощью маятникового механизма пилы 10 с дистанционным управлением процессом. Отсоединив разрезанием часть конструкции 1, она останется в неподвижном состоянии. Теперь аналогично возможно выполнить следующие операции. Отрезанную конструкцию подъемно-транспортным оборудованием убирают с места работ.

Процесс разрезания можно выполнять и в другом положении. Для этого необходимо отсоединить один из двух конусных шарниров 8, на которых держится направляющая 9, повернуть её в нужное положение и закрепить на лесах 2. По необходимости, для увеличения расстояния между лесами 2 и направляющей 9 алмазной пилы 10 можно использовать дополнительную трубу 6. После этого выполняют разрезание конструкции или разрез в стене, как показано на рис.3.

Как следует из представленного описания, используя предложенный способ, можно безопасно разделять горизонтальные элементы на отдельные части и, сколько нужно долго, поддерживать их в неподвижном безопасном положении. А также, с помощью предложенной конструкции разъемных конусных шарниров, выполнять разрезание и настройку оборудования на новый рез в другом месте за относительно короткое время. Разработанная технология разделения железобетонных элементов на отдельные транспортабельные части и их удержание на строительных лесах до погрузки на транспорт, рассматривается нами как альтернатива технологии и организации работ с разрушением конструкций навесным гидравлическим оборудованием ударного действия.

Выводы

Таким образом, в результате выполненной работы, определено одно из возможных направлений развития алмазной технологии для реконструкции и демонтажных работ. Предложенное конструктивное решение позволит уменьшить время на переоснастку и трудозатраты в целом. Ряд преимуществ данного способа позволяет рекомендовать его для последующего распространения в качестве рационального. Также подана заявка на выдачу декларационного патента Украины на полезную модель под названием «Спосіб розрізання залізобетонних конструкцій» (№ u201315009 от 23.12.2013г.).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пат. № 47190, Україна, МПК E04G 23/02. Спосіб утворення прорізу у несучій стіні /Р.Б.Папірник, В.Т.Шаленний, О.С.Каменев, А.А.Павлюк, І.Л.Грузинський.- № u200906485; заявл. 22.06.2009; опубл. 25.01.2010, Бюл. №2.- 2с., 3 іл.
2. Пат. №75122, Україна, МПК E04G 23/00. Спосіб розрізання залізобетону дисковою алмазною пилкою /В.Т.Шаленний, О.В.Троян, А.А.Павлюк, К.Б.Дікарев - № u201204719; заявл. 17.04.2012; опубл. 26.11.2012, Бюл. №22. – 4 с., 2 іл.
3. Севитол, алмазные технологии в строительстве /Режим доступа: http://sevitool.com.ua/pages/view/almaznaya_rezka_demontazh_betona.
4. ГОСТ 12.0.003-74. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация /Гос. комитет СССР по стандартам. - Изд. с изм. - М.: Изд-во стандартов, 2002. – 4с.
5. ДБН А.3.2-2~2009 Охорона праці і промислова безпека у будівництві. – Мінрегіонбуду України, 2012. – 116с.
6. Пат. № 85501, Україна, МПК B23D17/00. Обладнання для розрізання залізобетонних конструкцій /В. Т. Шаленний, І. В. Ніколенко, А. М. Рижаків, О. В. Троян, М. Д. Скрипкін, К. Б. Дікарев, Т. В. Мялик. — № u201305431; заявл. 25.04.2013 ; опубл. 25.11.2013, Бюл. № 22. — 5с., 2 іл.

УДК 69.058:699.86

ОЦІНКА ВИТРАТ НА ВИКОНАННЯ РОБІТ ІЗ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ФАСАДНОЇ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ ЦИВІЛЬНИХ БУДИНКІВ

Скокова А. О.

ДВНЗ "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури"

В роботі представлено результати розрахунку вартості та трудомісткості робіт із обстеження і оцінки технічного стану зовнішньої теплоізоляції будинків із використанням діючих українських нормативних документів. Висунуте припущення, що в середньому вартість робіт із обстеження і оцінки технічного стану теплоізоляції може змінюватись в інтервалі 2 – 18 % від вартості основних будівельно-ремонтних робіт, а трудомісткість їх виконання в середньому не буде перевищувати 2,5 %.

Оцінка технічного стану, фасадна теплоізоляція, ремонт, вартість, трудомісткість

Вступ

Теплоізоляційні системи з тонкошаровими штукатурками є одними з найбільш ефективних систем утеплення та опорядження фасадів будинків. Вони успішно використовуються в усьому світі вже впродовж 40 років. Питання ж довговічності та відновлення конструкції зовнішньої теплоізоляції поки що є маловивченими як у нашій країні, так і за кордоном.

Відповідно до додатку В ДСТУ Б В.2.6-36:2008 [2], зобов'язання генерального підрядника та організацій-співвиконавців робіт з улаштування збірної системи щодо її гарантійного терміну експлуатації, а також умови усунення виявлених у процесі експлуатації дефектів обумовлюються за домовленістю сторін в укладеному договорі (контракті).

Власник будівельного об'єкту протягом всього терміну експлуатації будівлі забезпечує здійснення періодичного огляду та, за необхідності, детального технічного обстеження збірної системи згідно з розробленими вказівками з її експлуатації. Основні вимоги до експлуатації систем теплоізоляції та моніторингу їх експлуатаційних показників наведено в п. 9 ДБН В.2.6-33:2008 [1], а також у п. 15 та додатку В ДСТУ Б В.2.6-36:2008. Відповідно до п. 9.4. ДБН В.2.6-33:2008, поточний профілактичний ремонт повинен плануватись відповідно до виявлених під час технічних оглядів пошкоджень і проводитися залежно від конструктивного рішення фасадної теплоізоляції відповідно до вимог нормативних документів, але не рідше одного разу на п'ять років.

Автор даної роботи вважає питання про вартість та трудомісткість робіт із обстеження і оцінки технічного стану фасадної теплоізоляції, які повинні передувати проведенню робіт із ремонту, актуальним питанням.

АНАЛІЗ ПУБЛІКАЦІЙ

Вивченню питання відновлення властивостей фасадних систем теплоізоляції присвячені роботи провідних учених України та країн СНД, таких як: доктори техн. наук Фаренюк Г. Г. (НДІБК, Україна), Монастирьов П. В. (МДБУ, Росія), Алехін С. В., Новіков О. В. (ЦРСФА, Росія), Менейлюк О. І. (ОДАБА, Україна), Савйовський В. В. (КНУБА, Київ), Лівінський О. М. (УАН, Україна), Друкований М. Ф. (ВНАУ, Україна), Соха В. Г., Карапузов Є. К. (компанія «Хенкель Баутехнік Україна»), канд. техн. наук Дікарев К. Б. (ДВНЗ ПДАБА, Україна) та ін. Сьогодні в Україні вже діють нормативні документи, що регламентують проектування, улаштування та експлуатацію систем зовнішньої теплоізоляції будинків [1-2].

МЕТА І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

Враховуючи уже отримані прогнозовані дані щодо техніко-економічних показників проведення робіт із ремонту фасадної теплоізоляції [4] дійсна робота має на меті висвітлення алгоритму та результатів розрахунку вартості та трудомісткості робіт із обстеження і оцінки технічного стану зовнішньої теплоізоляції будинків. Особливою задачею є виявлення дольової частини витрат на вказані роботи у складі основних будівельно-ремонтних робіт щодо відновлення властивостей систем теплоізоляції цивільних будинків.

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Згідно із п. 9.6 ДБН В.2.6-33:2008, ознаками відмов фасадної теплоізоляції слід вважати виникнення зон руйнування її зовнішньої поверхні площею від $0,15 \text{ м}^2$ на 1 м^2 кількістю більше двох, наявність на внутрішній поверхні зовнішніх стін утворень цвілі та плісняви в більш ніж двох приміщеннях з нормальним експлуатаційним тепловологісним режимом відповідно до ДБН В.2.6-31:2006. Таким чином слід вважати, що система фасадної теплоізоляції не виконує всіх своїх функцій, якщо існує ушкодження хоча б одного з її конструктивних шарів.

У роботі [4] в ході проведення обчислювального експерименту з дослідження техніко-економічних показників виконання робіт із відновлення властивостей зовнішньої теплоізоляції з опорядженням штукатурками були встановлені вартість та трудомісткість ремонтних робіт. Розрахунок було здійснено для 7 об'єктів будівництва, 12 різних систем теплоізоляції штукатурного типу та із використанням 11 різновидів засобів підмошування. До складу будівельно-ремонтних робіт для розрахунку їх вартості та трудомісткості були включені роботи із установа засобу підмошування (за потреби) та його оренди, роботи із демонтажу пошкодженої теплоізоляції (фрагментарно або повністю), роботи із улаштування нової теплоізоляції із розрахунком вартості необхідних для цього матеріалів, роботи із демонтажу засобу підмошування та роботи із забивання гнізд на фасадах (у разі використання приставних зовнішніх риштувань) [6, 7].

Відповідно до нормативних документів, а також необхідності врахування всіх витрат на проведення робіт із ремонту пошкодженої теплоізоляції, було проведено розрахунок витрат на роботи з обстеження і оцінки технічного стану теплоізоляції,

які б разом із уже отриманими значеннями вартості та трудомісткості будівельно-ремонтних робіт склали, так би мовити, загальну картину витрат коштів та трудових витрат на роботи з відновлення зовнішньої теплоізоляції будинків.

В опублікованих роботах спеціалістів ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (ДП НДІБК), що стосуються питань термореконструкції існуючого житлового фонду України, пропонується визначати вартість відповідних робіт за формулою:

$$TR = O + П + B + BP, \quad (1)$$

де O – вартість робіт з обстеження технічного стану фасаду, грн.;

$П$ – вартість розробки проекту термомодернізації, грн.;

B – вартість необхідних випробувань, грн.;


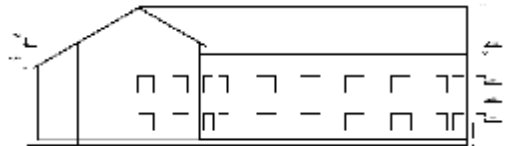
BP – вартість будівельно-ремонтних робіт з урахуванням вартості матеріалів, грн. [3]

В представленій роботі розрахунок вартості та трудомісткості робіт із обстеження і оцінки технічного стану фасадної теплоізоляції виконано спираючись на напрацювання, згадані раніше, а також на вимоги діючих нормативних документів, зокрема ДСТУ-Н Б Д.1.1-7:2013 «Правила визначення вартості проектно-вишукувальних робіт та експертизи проектної документації на будівництво» (чинний від 01.01.2014 р.), що був прийнятий на заміну ДБН Д.1.1-7:2000 та СОУ Д.1.2-02495431-001:2008 «Вартість будівництва об'єктів і робіт. Нормативи витрат труда для визначення вартості робіт з оцінки технічного стану та експлуатаційної придатності конструкцій будівель і споруд» [5], який діє з 10.06.2008 р.

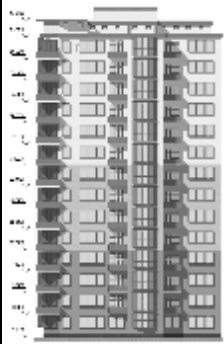


У табл. 1 наведено перелік і характеристика об'єктів будівництва, для яких було проведено розрахунок вартості та трудомісткості виконання робіт із обстеження і оцінки технічного стану фасадної теплоізоляції.

Таблиця 1

Характеристика об'єктів будівництва, які взяли участь у дослідженні

№ з/п	Шифр об'єктів [4]	Найменування об'єктів будівництва, коротка характеристика та ескізи фасадів	Будівельний обсяг будинку, м ³	Категорія складності будинку відповідно до [5]	Площа теплоізоляції на фасадах будинку, м ²
1	2	3	4	5	6
1	5Ф	 Житловий 21-поверховий будинок висотою 92 м. Розміри в осях – 18x25,2 м. Висота житлових поверхів – 3,3 м.	41731	III	3467
2	8Ф	 Житловий 2-поверховий будинок з мансардою висотою 12,5 м. Розміри в осях – 90x53,6 м.	19547	I	1954,7

Продовж. таблиця 1

1	2	3	4	5	6
3	10Ф	 <p>Житловий 15-поверховий будинок висотою 50 м. Розміри в осях – 18,3х26,1 м. Висота поверху – 3 м.</p>	18855	II	2796
4	11Ф	 <p>Житловий багатоквартирний 16-поверховий будинок висотою 55 м. Розміри в осях – 30,6х30,6 м.</p>	36438	IV	4068
5	12Ф	<p>Культурно-розважальний комплекс висотою 15 м. Розміри в осях – 36х66 м.</p> 	19873	II	1878

До складу робіт із обстеження і оцінки технічного стану фасадної теплоізоляції автором було включено такі роботи:

- ознайомлення з об'єктом, аналіз завдання і вихідних даних, складання кошторисно-договірної документації;
- візуальне обстеження фасадів будівлі, оцінка технічного стану зовнішньої теплоізоляції;
- розробка конструктивних рішень та складання робочих креслень для ремонту зовнішньої теплоізоляції стін;
- розробка рекомендацій з організації ремонтних робіт на 20 аркушах формату А4.

Для прикладу, в табл. 2 наведено кошторис на виконання робіт із обстеження і оцінки технічного стану фасадної теплоізоляції для об'єкту 5Ф.

Складність робіт прийнята такою, що відповідає 2 групі за табл. Б.1[5]. Вартість 1 люд.-дня прийнята рівною 390 грн. відповідно до табл. А.1[5].

Розрахункові витрати труда на одиницю виміру визначаються за формулою [5]:

$$T_i = T_{ni} \cdot \left(1 + \sum_{i=1}^n K_{yi} \right) \cdot K_{ci} \cdot K_{di} \quad (2)$$

де T_{ni} – норматив витрат труда на одиницю виміру i -го виду робіт, люд.-день;

K_{yi} – коефіцієнт, що враховує i -й фактор, який ускладняє виконання робіт при обстеженні будівлі;

K_{ci} – коефіцієнт, що враховує i -й фактор, який спрощує виконання робіт при обстеженні будівлі;

K_{di} – коефіцієнт, що враховує інші фактори умов виконання робіт при обстеженні будівлі.

Таблиця 2

Кошторис на виконання робіт із обстеження і оцінки технічного стану фасадної теплоізоляції об'єкту 5Ф

Найменування робіт	№ таблиць СОУ	Од. виміру	Кількість одиниць, виміру	Витрати труда (Т) люд.-день		Вартість, грн. (колонка 6 x 390 грн.)
				на од. виміру	разом	
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
1. Ознайомлення з об'єктом, аналіз завдання і вихідних даних, складання кошторисно-договірної документації на суму до 100 тис. грн.	Табл. 1, 2, 30	Один об'єкт	1	1,95	1,95	760,50
$T=1,5x(1+0,3) = 1,95$						
2. Візуальне обстеження фасадів будівлі, оцінка технічного стану зовнішньої теплоізоляції	Табл. 1, 2, 12	100 м ²	34,67	3,32	115,1	44890,72
$T=2,56x(1+0,00+0,3) = 3,32$						
3. Розробка конструктивних рішень та складання робочих креслень для ремонту зовнішньої теплоізоляції стін. Питома вага конструкцій, що підлягають ремонту - 18,8%	Табл. 1, 2, 26, 28	100 м ³	41,731	0,22	9,181	3580,52
$T=0,91x(1+0,3)x0,188 = 0,22$						
4. Розробка рекомендацій з організації ремонтних робіт	Табл. 1, 2, 30	Лист ф. А4	20	0,7	14	5460,00
$T=0,54x(1+0,3) = 0,7$						
РАЗОМ, грн.					140,24	54691,74
ПДВ - 20%						10938,35
ВСЬОГО вартість (з урахуванням ПДВ)						65630,08

За принципом, що представлений в табл. 2 були складені кошториси на всі обрані для дослідження об'єкти будівництва.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ІХ АНАЛІЗ

Отримані результати щодо вартості та трудомісткості виконання робіт із обстеження і оцінки технічного стану зовнішньої теплоізоляції було порівняно із показниками безпосередньо будівельно-ремонтних робіт для цих самих об'єктів за допомогою побудови гістограми, що представлена на рис 1.

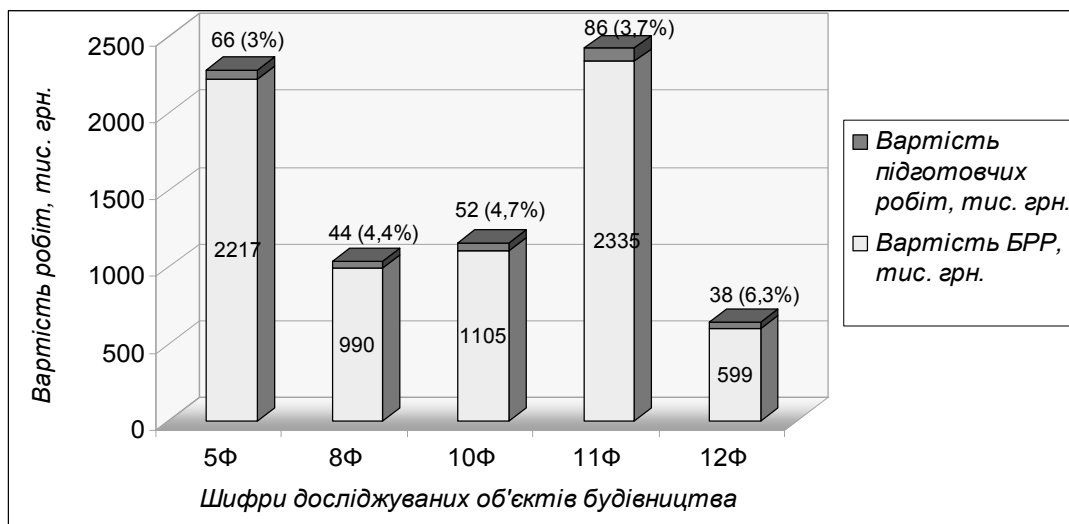


Рис. 1. Значення вартості робіт із обстеження і оцінки технічного стану та будівельно-ремонтних робіт за умови пошкодження фасадної теплоізоляції на 50 %

Як видно з гістограми (рис. 1), найдорожчими будуть роботи із обстеження і оцінки технічного стану для об'єкту 5Ф і 11Ф, які є найбільш складними з архітектурної та технічної точки зору. Ця складність відобразилась на значенні коефіцієнту, яким враховується фактор категорії складності будівлі (див. стовб. 5 табл. 1). Для об'єкту 5Ф цей коефіцієнт дорівнює 0,3, а для об'єкту 11Ф – 0,5 за табл. 2 [5]. Водночас, об'єкти 5Ф і 11Ф мають великий будівельний обсяг та значну площу теплоізоляції зовнішніх стін. Разом з тим, проведення робіт із обстеження і оцінки технічного стану теплоізоляції на об'єкті 12Ф потребуватиме найбільших грошових витрат (6,3%) відносно будівельно-ремонтних робіт. Це можливо пояснити технічною та архітектурною простотою об'єкту.

У відсотковому співвідношенні вартість робіт із обстеження і оцінки технічного стану теплоізоляції складає в середньому по розглянутим об'єктам від 2,2 % до 16,8 % залежно від відсотку пошкодження зовнішньої теплоізоляції по фасадній поверхні.

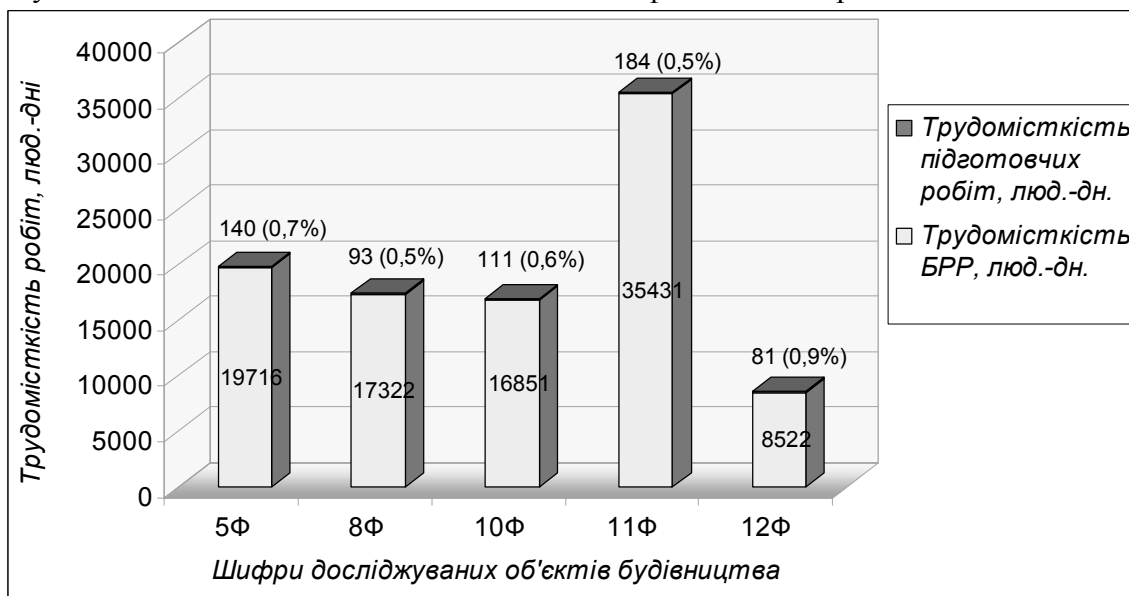


Рис. 2. Значення трудомісткості робіт із обстеження і оцінки технічного стану та будівельно-ремонтних робіт за умови пошкодження фасадної теплоізоляції на 50 %

Гістограма, що представлена на рис. 2 демонструє, що у відсотковому відношенні до будівельно-ремонтних робіт найбільших витрат труда потребуватиме проведення робіт із обстеження і оцінки технічного стану теплоізоляції на об'єкті 12Ф (0,9 %).

Загалом, для розглянутих у дослідженні об'єктах, відсотковий показник трудомісткості робіт із обстеження і оцінки технічного стану фасадної теплоізоляції змінюється від 0,4 % до 2,2 % залежно від відсотку її пошкодження по поверхні будинку.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз отриманих результатів дозволяє стверджувати, що найбільш витратними порівняно з основними відновлювальними роботами, будуть роботи з обстеження і оцінки технічного її стану при проведенні робіт на невеликих за обсягом та нескладних з архітектурної точки зору об'єктах.

2. Виконавши розрахунок для п'яти цивільних будівель, можна зробити припущення, що в середньому вартість робіт із обстеження і оцінки технічного стану фасадної теплоізоляції може змінюватись в інтервалі від 2 % до 18 % вартості будівельно-ремонтних робіт. Стосовно трудомісткості їх виконання, то можна сказати, що вони в середньому не будуть перевищувати 2,5 % від будівельно-ремонтних робіт на фасадах будинків.

3. Представлені результати можуть бути враховані при прийнятті рішення про більш ранне або пізніше (за ступенем пошкодження теплоізоляції) проведення відновлювальних робіт. Відсоткова частка робіт із обстеження і оцінки технічного стану від загальної вартості будівельно-ремонтних робіт є досить високою, особливо при ступені пошкодження теплоізоляції по площі фасаду до 20 %. Отже, можна припустити, що відповідальні за експлуатацію теплоізоляції особи та організації будуть уникати проведення відновлювальних робіт на початкових стадіях її руйнування, керуючись економічною доцільністю.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.6-33:2008. «Конструкції будинків та споруд. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування, улаштування та експлуатації». – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 23 с.
2. ДСТУ Б В.2.6-36:2008. «Конструкції будинків та споруд. Конструкції зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатурками. Загальні технічні умови». – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 36 с.
3. Звіт про науково-дослідну роботу ДП НДІБК. «Дослідження сучасних теплоізоляційних систем та розробка принципів будівельно-технічних рішень термореконструкції фасадів житлових будинків 1960-1995 років забудови з метою підвищення їх енергоефективності та зниження рівня споживання енергоресурсів будівель житлового фонду». – К.: ДП НДІБК Мікрорегіонбуду України, 2012. – 94 с.
4. Скокова А. О. Розвиток технології робіт із відновлення властивостей фасадної теплоізоляції будинків з опорядженням тонкошаровими штукатурками: дис. ... кандидата техн. наук: спец. 05.23.08 / Скокова Альона Олексіївна. – Дніпропетровськ, 2013. – 151 с.
5. СОУ Д.1.2-02495431-001:2008. «Вартість будівництва об'єктів і робіт. Нормативи витрат труда для визначення вартості робіт з оцінки технічного стану та експлуатаційної придатності конструкцій будівель і споруд». – К.: ДП НДІБК Мікрорегіонбуду України, 2008. – 51 с.
6. Шаленний В. Т., Скокова А. О. Вибір доцільної технології відновлення властивостей зовнішніх систем теплоізоляції з опорядженням штукатурками // Будівництво України. – 2012. – № 4. – С. 2 – 7.
7. Шаленний В. Т., Скокова А. О., Несевря П. І. Вихідні дані та методика дослідження ресурсів на відновлення фасадної теплоізоляції будинків із опорядженням легкою штукатуркою // Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне, 2011. – Вип.21. – С. 625 – 633.

РЕЗУЛЬТАТИ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ ІЗ ВАРІАНТНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ І ОРГАНІЗАЦІЇ ЗВЕДЕННЯ БАГАТОПОВЕРХОВИХ КАРКАСНИХ БУДІВЕЛЬ У РОЗБІРНО-ПЕРЕСТАВНИХ ОПАЛУБКАХ РІЗНИХ ВИРОБНИКІВ

Шаленний В. Т.¹, Капшук О. А.²

¹ *Національна академія природоохоронного і курортного будівництва,*

² *Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»*

У статті представлені методика та результати обчислювального експерименту, що проводився у середовищі програмних продуктів Project Manager та АВК-5, з розрахунку техніко-економічних показників влаштування монолітного каркасу трьох багатоповерхових будівель у розбірно-переставній опалубці. Розглянуто три варіанти найбільш поширених в Україні опалубок, що можуть застосовуватися для цих будівель на умовах оренди або купівлі підрядною організацією. Доведено суттєві відмінності отриманих показників тривалості, питомих собівартості та трудомісткості залізобетонних робіт за розглянутими варіантами технологій. Що дозволяє більш обґрунтовано підходити до вибору системи опалубок та умов її використання на конкретному об'єкті.

опалубка, розрахунок, техніко–економічні показники

ВСТУП

Зведення будівель і споруд із використанням монолітного залізобетону в Україні охоплює все нові області і напрями, що стає ознакою сучасного індустріального будівництва. Технологія довела свою конкурентоспроможність і успішно реалізується при цілорічному виробництві робіт. Будівництво унікальних об'єктів, висотних будівель, промислових комплексів, вже неможливо без використання монолітних конструкцій. А звідси, і питання щодо підвищення ефективності технології і організації будівництва із використанням монолітного залізобетону стоїть досить гостро.

АНАЛІЗ ПУБЛІКАЦІЙ

В означеному напрямку підвищення ефективності зведення будівель із монолітного бетону працювало і працює багато науковців нашої країни, країн СНД [1, 2, 3], а також фірм-виробників самих опалубних систем та прямих користувачів даної технології. У 2005 році надруковано солідне навчальне видання [4], яке цілком присвячене лише технологіям із використанням різноманітних опалубних систем, але найбільшу увагу було присвячено розбірно-переставній опалубці, як найпоширенішій у СНД.

Поширення розбірно-переставних (модульних) систем опалубок в Україні продовжується за двома напрямками: використанням опалубок відомих закордонних фірм-виробників та створенням вітчизняних систем-аналогів, що поки що лише не завжди вдало копіюють перші. І таким чином, лише фірм-виробників опалубок в Україні уже біля 20. Але нормативні документи, що діють в Україні [5, 6], базуються на використанні однієї системи розбірно-переставної опалубки австрійської фірми Дока. Ми вже звертали на це увагу і довели доцільність удосконалення згаданих нормативних документів із поділом норм окремо на технологічні операції монтажу та демонтажу елементів цієї опалубки [7]. Адже це важливо для побудови графіків виконання робіт із наступним визначенням їх техніко-економічних показників.

В минулому році ми провели необхідні хронометражні спостереження і, за відомими методиками, визначили норми часу для влаштування окремо колон [8], перекриттів [9] та стін [10] у найпоширеніших системах розбірно-переставних опалубках. Там та в [11] принципово вже було доведено відмінності у техніко-економічних показниках технологій із використанням опалубок різних фірм. Однак ці висновки ґрунтувались на проектуванні

технології і організації робіт по влаштуванню окремих перерахованих конструкцій та лише на одному відносно простому двоповерховому об'єкті, а в останній роботі — тільки при реконструкції окремо розташованих фундаментів на умовах оренди та вартості матеріалів, що були на той час оприлюднені у рекламних матеріалах відомих фірм м. Сімферополя. Для більш загальних висновків щодо ефективності використання тієї чи іншої системи опалубки треба в комплексі розглянути організацію робіт із влаштування всіх перерахованих конструкцій, причому на декількох більш складних об'єктах. Окрім цього, в Україні склалося дві схеми придбання необхідного комплексу опалубки: власне купівля та оренда. В залежності від цього, собівартість робіт може відрізнятись. Що слід теж врахувати при дослідженнях, результати яких і складають основний зміст цієї нашої роботи.

МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета роботи – підвищення ефективності зведення каркасів монолітних залізобетонних будинків за рахунок визначення та порівняння техніко-економічних показників проектів використання розбірно-переставних опалубних систем різних виробників. На прикладі технології та організації виконання опалубних робіт при бетонуванні конкретних каркасів вирішувались наступні **завдання**:




- розробка методики та проведення обчислювального експерименту із побудовою календарних планів їх зведення в середовищі Project Manager; складання кошторисів із використанням системи АВК-5;
- обробка і аналіз результатів в середовищі електронних таблиць MS Excel із визначенням та порівнянням техніко-економічних показників розглянутих варіантів технології та встановленням економічно більш доцільних.

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Перед початком визначення тривалості будівництва та його кошторисної вартості для дослідження були підібрані три об'єкти із залізобетонними каркасами та такими технічними показниками як кількість поверхів; товщина перекриттів; розміри перерізу колон; товщина стін та загальний обсяг бетону в залізобетонних конструкціях (табл. 1).

Таблиця 1

Об'єкти та загальні результати обчислювального експерименту

№ та показники	1	2	3
Ескіз фасаду			
Кількість поверхів	10	5 та 7	24
Кількість секцій	1	2	1
Розміри в плані, м	29,400x16,100	23,900x15,600	45,100x24,500
Висота, м	+28,160	+15,000 та +21,000	+79,200
Обсяг бетону, куб.м.	1537,86	950,32	9487,71
Переріз колон, м	0,4x0,4	0,4x0,4	0,5x0,5 та 0,6x0,6
Товщина перекриття, м	0,15	0,15	0,2
Товщина стін, м	0,15	0,15	0,4
Економічні показники та межі їх коливань за результатами обчислювального експерименту (значення мінімальне та максимальне)			

Продовж. табл. 1

Вартість спорудження каркасу за умови придбання опалубки, тис. грн.	5328,798 – 5725,8912	3567,1248 – 3869,622	32399,81 – 33454,836
Вартість спорудження каркасу за умови оренди опалубки, тис. грн.	5429,5248 – 6205,2528	3745,9704 – 4195,194	34284,7344 – 36215,56
Трудомісткість, тис. люд. - годин	7,043 – 10,344	11,863 – 14,173	86,723 – 90,547
Кошторисна зарплата робітників, тис. грн.	140,202-172,01	164,708-192,15	1242,273-1330,39
Тривалість робіт, діб	300-356	317-354	670-753

Усі можливі варіанти розрахунків техніко – економічних показників спорудження каркасів згаданих трьох об'єктів зведені у матрицю планування обчислювального експерименту (табл. 2).

Таблиця 2

Матриця планування та деякі результати обчислювального експерименту

Варіант матриці	Шифр об'єкту дослідження	Фірми-виробники опалубних систем	Умови використання опалубки (купіля-К чи оренда -О)	Номер розрахунку спорудження у АВК-5	Тривалість комплексу робіт із бетонування каркасу, діб	Загальна трудомісткість робіт, людино-дні
1	1	Doka	К	1	356	1293,02
2		Doka	О	4		
3		Peri	К	2	300	880,42
4		Peri	О	5		
5		Ulma	К	3	350	1133,38
6		Ulma	О	6		
7	2	Doka	К	7	354	1771,7
8		Doka	О	10		
9		Peri	К	8	317	1482,9
10		Peri	О	11		
11		Ulma	К	9	334	1656,08
12		Ulma	О	12		
13	3	Doka	К	13	751	11318,41
14		Doka	О	16		
15		Peri	К	14	670	10840,44
16		Peri	О	17		
17		Ulma	К	15	753	11256,40
18		Ulma	О	18		

ВИХІДНІ ДАНІ І ПОРЯДОК ВИЗНАЧЕННЯ ТРИВАЛОСТІ ВИКОНАННЯ ОКРЕМИХ РІЗНОВИДІВ РОБІТ

Вихідними даними об'єктів слугували робочі креслення на будівлю (плани, розрізи та конструктивні елементи). На цій основі далі були складені номенклатура робіт та визначені їх обсяги. Обсяги робіт визначались окремо по кожному різновиду робіт, що входять в комплекс зі зведення монолітного каркасу.

З метою впорядкування обсягу розрахункових робіт при опрацюванні різних варіантів для календарного плану зведення каркасів будівлі було проведено розбиття на захватки по

окремим різновидам конструкцій. Ці захватки надалі сформовані у комплекси (фронти) робіт по поверхам будівлі за такими принципами:

а) у кожний комплекс включали роботи, після виконання яких на об'єкті можуть виконуватися роботи наступного комплексу. Наприклад, після зведення монолітних колон (із технологічно необхідною витримкою до розопалублення) на першій захватці можна приступати до влаштування монолітного перекриття на цій же захватці і т.п.;

б) номенклатура фронту робіт складалася у відповідності із умовами можливих технологічної сумісності та послідовності їх виконання.

Кваліфікаційний склад бригади відповідав рекомендаціям ЄНіР, в яких зазначаються фах робітників і їх розряд для виконання певного різновиду робіт. Далі, через трудомісткість, змінність та склад виконавців визначались тривалості певних робіт на захватках. Ці розрахунки і були основою для побудови варіантів календарних графіків зведення каркасу відповідного об'єкту в середовищі програмного комплексу Project Manager. Як результат цих розрахунків та побудов, було отримано тривалості і трудомісткості виконання комплексу залізобетонних робіт (див. табл. 2).

ВИХІДНІ ДАНІ І ПОРЯДОК ВИЗНАЧЕННЯ КОШТОРИСНОЇ ВАРТОСТІ ЗВЕДЕННЯ МОНОЛІТНОГО КАРКАСУ ТА КОШТОРИСНОЇ ЗАРОБІТНОЇ ПЛАТНІ

Для виконання розрахунку вартості зведення монолітного каркасу використовувався програмний комплекс АВК-5 та ДБН.Д. 1.1-2000 [12], в якому міститься та використовувалась нині діюча в Україні система ціноутворення на будівельно-ремонтні роботи з метою встановлення кошторисної вартості за одиничними нормами. Ця система ціноутворення базується на нормативно-розрахункових показниках і поточних цінах трудових і матеріально-технічних ресурсів. Нормативними показниками є ресурсні елементні кошторисні норми. На основі цих норм і поточних цін на трудові й матеріально-технічні ресурси визначають прямі витрати у вартості будівництва. При складанні локальних кошторисів застосовувались:

- вказівки до застосування ресурсних елементних кошторисних норм;
- ресурсні елементні кошторисні норми України та ресурсні кошторисні норми експлуатації будівельних машин і механізмів;
- поточні ціни на матеріали, вироби й конструкції.

Отримані в результаті відомості ресурсів до локальних кошторисів містять дані про обсяги робіт, передбачених кошторисом, про трудомісткість і середній розряд робіт, нормативну потребу в матеріально-технічних ресурсах у фізичних одиницях виміру, а також вартість одиниці виміру трудових і матеріально-технічних ресурсів, що прийнята в кошторисі.

У складі локальних кошторисів окремі конструктивні елементи монолітного каркасу та різновиди робіт згруповано у розділи. Порядок розташування робіт у локальних кошторисах і їх групування в розділи відповідають технологічній послідовності провадження робіт. Далі наведено фрагмент локального кошторису для 1-ї будови (рис.1.).

№	Шифр і назва роботи	Назив роботи (кратко, одиниця виміру)	Кількість	Вартість, гривні		Загальна вартість, гривні		Загальна вартість, гривні	
				усього	заробітної плати	усього	заробітної плати		
Таблиця № 4. Зведення колон									
1	420-42-24	Виконання арматури зварювальним способом із розробленими кутами в площині і ступиці рами з зварювальними фасками, об'ємом арматури, на мольові 35 (для виконання робіт на висоті [висота] від поверхні землі 15 м)	22,48	242,58 258,40	40,72 22,47	79,77	4,79%	268,17 480,87	
2	5124-27	Виконання арматурної сталі, середнього профілю, класу А-III, діаметру 55-80 мм	23,45	882,40	-	2968,01	-	-	
3	5113-2085	Висадка пластмасовий односторонній із закладом діаметром 20 мм	308	8,82	-	206	-	-	
4	420-42-21	Виконання арматури зварювальним способом із розробленими кутами в площині і ступиці рами з зварювальними фасками, об'ємом арматури, на мольові 45 (для виконання робіт на висоті [висота] від поверхні землі 15 м)	0,06	662,78 348,72	232,25 25,50	28	21	2 1	
5	5113-2085	Висадка пластмасовий односторонній із закладом діаметром 20 мм	324	8,82	-	217	-	-	
Всього ресурсів:				на одностор.	27188	на двостор.	62268	48752	16528
вартість праці робітників, не включаючи обслуговування машин, мех. с:				899	27188	48752	16528	64266	
вартість праці робітників, що обслуговують машини, мех. с:				262	899	48752	16528	76208	

Рис.1. Фрагмент комп'ютерного розрахунку локального кошторису для об'єкту 1

Якщо повернутися до матриці обчислювального експерименту, то там окремим стовпчиком винесено умови використання опалубки. Тож, за умови купівлі комплекту розбірно-переставної опалубки, при складанні локальних кошторисів будови при заведенні в ціну матеріалів, необхідно вартість опалубки поділити на нормативну кількість оборотів. Наприклад, вартість однієї стійки для влаштування перекриття близько 1400 грн., а нормативна її кількість оборотів 220, тож отримуємо ціну на 1 оберт стійки, яка дорівнює 6,36грн.

При умовах оренди опалубки, в локальних кошторисах із результатів необхідно було виключити повністю всі витрати ресурсів, що стосуються опалубних систем. За ДБН.Д.1.1-2000 [12], витрати ресурсів на оренду опалубки не входять до прямих витрат. Отже, окремим розрахунком необхідно було підвести суму оренди опалубки, але з урахуванням отриманої за графіками тривалості знаходження опалубки на будівництві, та внести її безпосередньо в підсистему Договірної ціни АВК-5.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ АНАЛІЗ

Отримані за наведеною методологією результати розрахунків питомих собівартості та трудомісткості залізобетонних робіт, а також тривалості зведення каркасів представлені на рис.2 у вигляді гістограм. Ці графічні матеріали підтверджують наше припущення про їх суттєві відмінності як по змодельованих об'єктах, так і системах опалубок та умовах їх використання на будмайданчиках. Так, у всіх змодельованих варіантах технології, за всіма розглянутими показниками, переважає технологія із використанням опалубної системи фірми Peri. Дещо гіршим є використання опалубної системи Ulma, а найгірші показники демонструє саме найбільш розповсюджена та передбачена діючими в Україні нормативами опалубка фірми Doka.

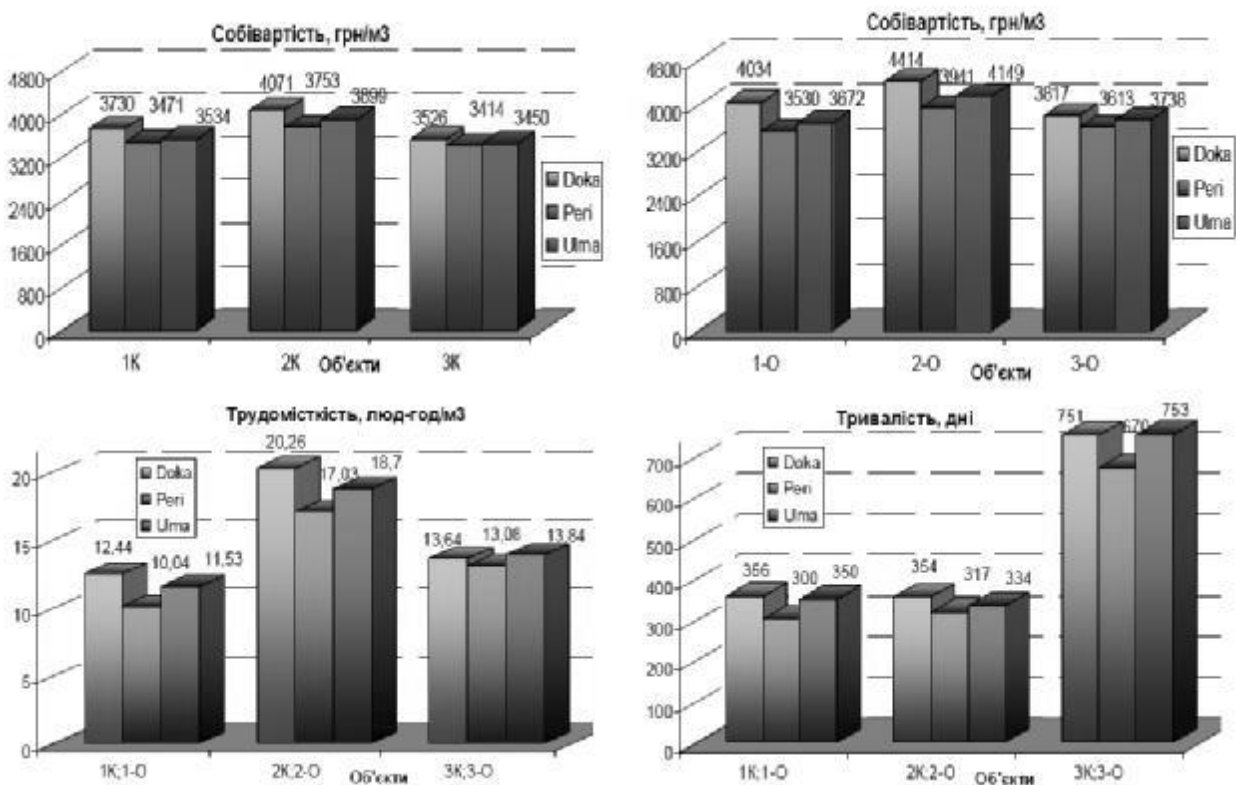


Рис.2. Результати моделювання техніко-економічних показників розглянутих варіантів технології і організації зведення каркасів будинків 1, 2 і 3 на умовах використання опалубки: К — купівля, О - оренда

Перш за все, це можна пояснити не її технічними перевагами, а навпаки, суб'єктивними міркуваннями спеціалістів і керівництва підрядних організацій, що, мабуть, керуються агресивною рекламною політикою фірми. Та й подібних

результатів досліджень поки що не публікувалось в Україні та країнах СНД. А різниця в питомій собівартості складає до 259 грн./куб. м залізобетону (7%) при купівлі необхідного комплексу опалубки та до 504 грн. /куб. м (12,5%) на умовах оренди. Чим більший та складніший об'єкт, тим менше відмінності у собівартості використання опалубок різних виробників, хоча питома собівартість виконання конструкцій, навпаки, зменшується.

Ще більші коливання спостерігаються у показниках питомої трудомісткості залізобетонних робіт: від 0,56 люд.-годин /куб. м для третього найвищого об'єкту (всього 4,1%) до 3,23 люд.-годин /куб. м для другого (15,9%) та до 2,4 люд.-годин /куб. м для першого об'єкту, що складає 19,3% різниці між екстремальними. Тривалість спорудження каркасів будівлі пропорційна його розмірам і практично відзеркалює коливання собівартості з тією лише відмінністю, що для найбільшого об'єкту і тривалість спорудження максимальна. Між тривалістю зведення кожного об'єкту-представника та фірмою виробником опалубки різниця тривалості складає 15,7% на першому будинку, 10,5% - на другому та трохи більше 11% на третьому будинку.

Пояснюють причини значно більшої собівартості робіт із використанням опалубки, що орендують у порівнянні із придбаною у власність секторні діаграми, що зведені до табл. 3. Тільки на третьому об'єкті, за умов купівлі, витрати на придбання є меншими ніж заробітна платня та на експлуатацію будівельної техніки. У всіх інших випадках, питомі витрати на опалубку виявилися більшими ніж дві інші згадані складові, інколи навіть разом узяті, і досягають до 21% загальної собівартості. Причому витрати на орендовану опалубку у середньому у два рази більші, ніж на куплену чи взятую в лізинг. Отже, маючи такі коротко проаналізовані результати, можна більш обґрунтовано приймати рішення щодо використання різних систем опалубки та умов їх придбання. Наведена методологія моделювання технологічних процесів та їх кінцевих техніко-економічних показників може з успіхом використовуватись на інших об'єктах із очікуваним зниженням собівартості робіт не менш ніж на 5-7%, трудомісткості — на 4 -19% і скорочення тривалості зведення каркасів — до 10-16%.

ВИСНОВКИ

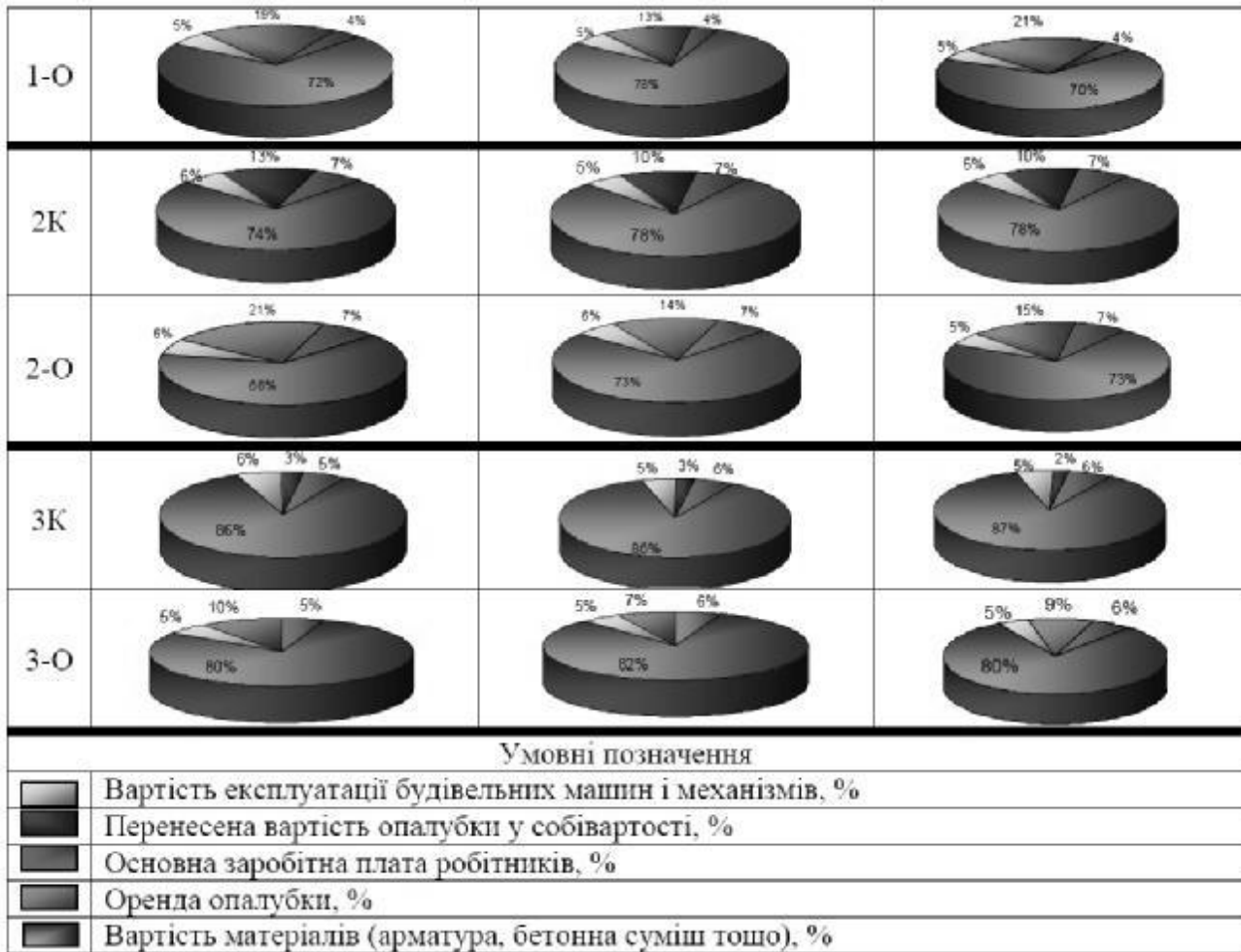
Доведено необхідність подальшого розвитку досліджень про вплив використання розбірно-переставних опалубок різних фірм-виробників на кінцеві техніко-економічні показники зведення монолітних багатоповерхових каркасів цивільних будівель. Маючи наведені результати, можна більш обґрунтовано приймати рішення щодо використання різних систем опалубки та умов їх придбання. Наведена методологія моделювання технологічних процесів та їх кінцевих техніко-економічних показників може з успіхом використовуватись на інших об'єктах із очікуваним зниженням собівартості робіт не менш ніж на 5-7%, трудомісткості — на 4 -19% і скороченням тривалості зведення каркасів — до 10-16%.

Таблиця 3

Структура собівартості за об'єктами, виробниками опалубки та умовами використання

Об'єкт	Опалубні системи за фірмами-виробниками		
	DOKA	PERI	ULMA
ІК			

Продовж. табл. 3



СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шаленний В. Т. Основні принципи вибору комплексу опалубки для монолітного будівництва і технологічного проектування опалубних робіт / А. М. Березюк, В. Т. Шаленний, І. Ф. Огданський, К. Б. Дікарев, Є. В. Зубкова // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. — Дніпропетровськ: ПДАБА, 2011. — № 3. — С.32—38.
2. Галумян А. В. Организационно-технологическая модель скоростного строительства жилых зданий из монолитного железобетона: дис. канд. техн. наук: 05.23.08 / Галумян Арамаис Варданович. — М., 2010. — 195с.
3. Сысоев А. В. Совершенствование технологии монолитного домостроения на основе методов и средств автоматизации опалубочных работ: дис. канд.техн.наук: 05.23.08 / Сысоев Андрей Владимирович. — Нижний Новгород, - 2006.—167с.
4. Анпилов С.М. Опалубочные системы для монолитного строительства. — М.: Изд-во АСВ, 2005. — 280с.
5. ДБН Д.2.2-6-99. Ресурсные элементные сметные нормы на строительные работы. Сборник 6. Бетонные и железобетонные конструкции монолитные. / Госстрой Украины — Киев, 2000. —69с.
6. ДСТУ Б Д.2.2 – 1:2008. Сборник 6. Сборка и разборка опалубки. — Киев: Минрегионстрой Украины. — 35с.
7. Шаленний В. Т. Розвиток нормування витрат ресурсів на виробництво опалубочних робіт із використанням сучасних розбірно-переставних опалубочних систем /В. Т. Шаленний, П. І. Несевря, О. А. Біцоева, В. В. Гріздуб, В. О. Дзюбенко //Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. трудов. — Днепропетровск : ПГАСА, 2012. — Вып. 65. — С. 666—670.

8. Шаленний В. Т. Підвищення ефективності бетонування колон на основі поліпшених норм часу та врахування різновиду розбірно-переставних опалубок /В. Т. Шаленний, О.А. Капшук, В.В. Гризодуб //Строительство и техногенная безопасность //Сб.науч. трудов. – Симферополь, НАПКС, 2013. - Вып. 45.– С.44-51.
9. Шаленний В. Т. Оцінка ефективності робіт із влаштування залізобетонних перекриттів на основі встановлених норм часу та врахування виробника розбірно-переставних опалубок /В. Т. Шаленний, О. А. Капшук, В. В. Гризодуб //Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : Зб. наук. праць. — Рівне : НУВГП, 2013. — Вип. 25. — С. 166—179.
10. Шаленний В. Т. Порівняльна оцінка ефективності використання розбірно-переставної опалубки фірм Doxa та Regi для влаштування стін /В. Т. Шаленний, О.А. Капшук //Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури //Зб.наук. праць. – Макіївка, ДНАБА, 2013. - Вип. 2013-3(101).– С.29-31.
11. Шаленний В. Т. Шляхи підвищення конкурентоспроможності бетонних робіт у розбірно-переставних опалубках /А. П. Приходько, В. Т. Шаленний, О. А. Капшук, І. В. Нікітіна //Строительство, материаловедение, машиностроение. Сб. науч. трудов. — Днепропетровск : ПГАСА, 2013. — Вып. 69. — С.382—385.
12. ДБН.Д. 1.1-2000. Государственные строительные нормы. Правила определения стоимости строительства. /Госстрой Украины – Киев, 2000. –136с.

РАЗДЕЛ 6. ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 388.488(4777.75):574(24)

ИСТОРИЯ И ЭКОЛОГО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ КАРСТОВЫХ ПЕЩЕР КРЫМА ДЛЯ ТУРИСТИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ

Булгару М. А., Киримов Б. Э., Исаенко О. В.

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

В данной статье приводятся первые упоминания о пещерах Крыма. Рассказывается про увеличение популярности активного вида туризма, в частности посещение пещер. В связи с этим процессом дается краткая история оборудования карстовых пещер Крыма для туристических целей. Рассмотрены эколого-технические особенности, предъявляемые для оборудования пещер, как с точки зрения безопасности туристов, так и точки зрения сохранения пещеры как природно-ландшафтного комплекса.

Карст, пещера, экология, микроклимат, ландшафт.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы связана с тем, что в последние годы туристическая отрасль Крыма устойчиво развивается. Особую популярность приобрели активные виды туризма, в том числе большой интерес проявляется к посещению пещер. В связи с этим, проводится как реконструкция ранее оборудованных пещер (замена освещения на энергосберегающее, расширение смотровых площадок, оборудование новых участков), так и оборудование новых. Оборудование пещеры по современным стандартам требует выполнения как инженерно-технических норм, обеспечивающих безопасность посетителей, так и экологических норм, позволяющих сохранить пещеру как природно-ландшафтный комплекс.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Вопросы, касающиеся оборудования пещер Крыма для туристических целей рассмотрены в публикациях В. Н. Дублянского, А. А. Ломаева, А. Ф. Козлова, Е. И. Тимохиной, Е. А. Лукьяненко, Г. В. Сазоновой и др.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью данной работы является анализ истории оборудования карстовых пещер Крыма. В статье рассмотрены этапы оборудования пещер Крыма, сформулированы основные инженерно-технические и экологические требования к их оборудованию.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

При написании статьи был изучен и использован литературный материал, посвященный данной теме, а также материалы авторских полевых исследований (на примере пещеры Красная).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Использование карстовых полостей Крыма для туристических целей имеет более чем двухвековую историю. В конце XVIII в. академик К. И. Габлиц с научными целями посетил привходные части нескольких пещер Чатырдага и Караби-яйлы. Первое описание Красной пещеры (Кизил-Кобы) дал после ее осмотра П. И. Сумароков в 1803 г. В частности он писал: «Прокравшиеся потоки сильных дождей в ноздреватые скважины земли стремлением своим искали таковые пролазы, вливаясь туда, разрывали их более, оставляя озерки». В архивах сохранился личный дневник дипломата и писателя А. С. Грибоедова. В нем есть запись о том, что Грибоедов осмотрел пещеры Кизил-Коба 24 июня 1825 г. В 1833 г. Красную пещеру посетил известный швейцарский натуралист и путешественник Ф. Дюбуа де Монпере. Путешественники конца XVIII – XIX вв. посещали привходные, относительно легкодоступные участки необорудованных пещер, пользуясь при этом только примитивными средствами освещения – факелами и свечами.

Ситуация несколько изменилась в 70-х гг. XIX в., когда Крымский полуостров стал бурно развиваться как морской и климатический курорт. Кроме пассивного отдыха и лечения отдыхающих стали интересовать природные и исторические памятники полуострова, в том числе сильно возрос интерес к пещерам. В результате возникла необходимость оборудования пещер для проведения по ним экскурсий. Одно из первых сообщений о том, что были предприняты попытки оборудования Красной пещеры, находится в «Путеводителе по Крыму» Г. Э. Караулова и М. А. Сосногоровой (1883). Там говорится, что через подземное озеро можно перейти «по деревянной кладке». В 1890 г. был создан Крымский горный клуб, одной из задач которого была охрана и оборудование пещер. В 1893 г. стараниями членов клуба были оборудованы две самые известные пещеры Чатырдага – Бинбаш-Коба (Тысячеголовая) и Суук-Коба (Холодная). В пещерах были установлены деревянные двери, сооружены мостики и лестницы (в Суук-Кобе для удобства ходьбы была насыпана дорожка из щебня). Для освещения использовались свечи, которые продавались сторожем по 10 коп.; посещение пещер также обходилось по 10 коп. за каждую. В 1898 г. эти две пещеры посетили члены Всемирного геологического конгресса, проходившего в Петербурге. Для них специально была организована выездная экскурсия в Крым. В 1905 г. на Чатырдаге были оборудованы еще две пещеры – Учунжу и Гугерджин. Для спуска в Учунжу на глубину 24 м была построена деревянная наклонная лестница протяженностью 52 м, с несколькими пролётами и смотровыми площадками между ними. На то время это было единственное в Российской империи инженерное сооружение подобного типа. К сожалению, с началом Первой мировой войны и последовавшей за ней Октябрьской революцией всё оборудование пещер было уничтожено и разграблено. В течение последующих семидесяти лет в Крыму не было ни одной оборудованной для туристических целей пещеры.

В конце 1970-х гг. институтом Союзкурортпроект (г. Москва) был подготовлен грандиозный технический проект. Было намечено оборудовать первые три километра Красной пещеры и связать их с поверхностью Долгоруковской яйлы 600-метровым тоннелем с подъемником. С яйлы была пробурена пробная скважина, вышедшая в засифонной части пещеры. Однако, из-за отсутствия финансирования работы были остановлены и проект не был осуществлён.

Новый этап освоения крымских пещер для туристических целей начался в 1987 г. В течение полутора лет (конец 1987 – апрель 1989 гг.) длилось оборудование привходовой части Мраморной пещеры (Галерея Сказок, протяженность маршрута около 180 м). Следующий этап включал в себя прокладку удобного для посетителей горизонтального тоннеля в Тигровый Ход и оборудование его галерей экскурсионными дорожками общей протяженностью около 200 м. В 1997 г. было закончено оборудование маршрута по Залу Перестройки, что представляло наибольшую техническую сложность из-за огромного глыбового завала на дне зала. Мраморная пещера стала первой пещерой в Крыму, оборудованной по международным стандартам.

В 1994 г. была оборудована для осмотра другая пещера Чатырдага - Эмине-Баир-Хосар. Ранее она была недоступна обычным туристам, единственным входом в пещеру был вертикальный 16-метровый колодец, диаметром 8 м. При оборудовании пещеры пришлось расширить наклонный 12-метровый тоннель и сделать удобный вход. Кроме того, были прорублены искусственные ходы, соединяющие некоторые залы. Длина экскурсионного маршрута на сегодняшний день превышает тысячу метров. В конце 2000-х гг. на нижнем плато Чатырдага оборудована третья пещера – Эмине-Баир-Коба. Здесь протяженность оборудованного экскурсионного маршрута составляет всего около 70 м.

В 1990 г. была оборудована привходовая часть Красной пещеры (Грибоедовская галерея, протяженность около 200 м (рис. 1)); к концу 1990-х гг. оборудованная часть была продлена до Первого сифона (протяженность экскурсионного маршрута составила 500 м).



Рис. 1. Красная пещера. Лестница, ведущая с первого этажа пещеры на второй

Особенности оборудования Красной пещеры состоят в том, что по ее первому этажу протекает подземная река Су-Учхан. В результате ежегодных паводков, наступающих после сильных ливней или быстрого таяния снега весной, уровень реки значительно поднимается и туристический маршрут, проходящий по первому и второму этажам, оказывается затопленным. В начале 1990-х гг. был пробит водоотводный канал, позволяющий быстро сбрасывать паводковые воды, однако в результате этого сильное влияние было оказано на гидрологический режим пещеры.

В 2003 г. для посещения была оборудована Скельская пещера (Байдарская яйла). Были проложены бетонные дорожки, смотровые площадки, лестницы; укреплены некоторые участки пещеры. В 2011 г. пещера вновь была переоборудована: установлены новые широкие удобные лестницы, расширены прежде узкие проходы. Существенно улучшено освещение, впервые в крымских пещерах применено высокотехнологичное электрооборудование. Оборудованный маршрут проходит по среднему и верхнему уровню (всего в пещере 3 уровня). Его протяженность составляет 270 м.

На Ай-Петринской яйле функционируют три оборудованные пещеры. Первой в начале 2000-х гг. была оборудована Трехглазка; в 2007 г. оборудован экскурсионный маршрут в пещере Ялтинская; в 2009 г. – в пещере Геофизическая. При оборудовании Геофизической пещеры столкнулись с определенными инженерными сложностями. Во входную вертикальную шахту глубиной 28 м специалистами ООО «Крымспелеотур» была установлена уникальная винтовая лестница.

Оборудование и эксплуатация пещер в качестве экскурсионного объекта является фактором, серьезно воздействующим на их природную среду, и способным изменить ее до опасной степени необратимого изменения главных свойств подземного ландшафта – тех свойств, которые и вызвали потребность в экскурсионном использовании пещер. Задача минимизации изменений подземного ландшафта пещеры является одной из важнейших при ее благоустройстве и эксплуатации.

Т. Хитом предложена концепция энергетических уровней пещер. По его классификации, пещеры могут быть разделены на три категории: высокоэнергетичные, среднеэнергетичные и низкоэнергетичные. Высокоэнергетичные пещеры регулярно переживают события большой энергии, например периодические паводки (например, нижние этажи Красной пещеры); для них характерен значительный меженный сток и мощная воздушная циркуляция; в таких пещерах влияние оборудования и экскурсионной

деятельности на их экологическое состояние мало ощутимо. В среднеэнергетичных пещерах процессы менее энергетичны: спокойно текущая вода, наличие озер с замедленным водообменом, незначительная воздушная циркуляция. В таких пещерах поток посетителей может оказывать существенное воздействие, так как высвобождаемая при этом энергия может быть однопорядковой с энергией естественных процессов. Низкоэнергетичные пещеры характеризуются еще менее энергетичными процессами (например, падение капель со сводов). С точки зрения использования для туристических целей эти пещеры наиболее уязвимы.

Основными факторами антропогенного влияния на природно-ландшафтный комплекс пещеры являются оборудование экскурсионного маршрута (дорожки, лестницы, смотровые площадки, искусственные входы и тоннели), освещение и воздействие туристических групп.

Например, строительство второго искусственного входа в пещеру Эмине-Баир-Хосар повлияло на такой важный элемент подземного ландшафта как микроклимат. В результате в привходовой части, в пределах 5 – 6 м от входной двери, образовалась локальная циркуляция воздуха; за ней возникла небольшая буферная подзона, на которую оказывают влияние, как внешняя метеорологическая ситуация, так и основная микроклиматическая зона пещеры.

Система освещения в пещерах генерирует определенное количество тепла. В связи с этим температура увеличивается и достигает стационарных значений, превышающих природные. Вблизи источника света эффект может быть как физический (температурный), так и биологический. В случае использования ламп накаливания температурный эффект усиливается, если светильники расположены вблизи поверхностей стен или натеков. Например, в пещере Каstellяна (Италия) температура скальной стены в 50 см от светильника мощностью 1 кВт увеличилась от 15°C до более чем 25°C, с уменьшением относительной влажности от 95 – 100% до 55 – 60% и возникновением восходящего потока воздуха. Данные режимных наблюдений за температурой воздуха в пещере Мраморная говорят о том, что повышения температуры незначительны, максимально – в середине Тигрового хода до 12°C (средняя для этой зоны пещеры температура составляет 10°C).

Биологический эффект освещения – размножение водорослей и мхов вокруг источников света – является обычной проблемой экскурсионных пещер. Эти организмы не только оказывают негативное воздействие на эстетический облик пещеры (на стенах и натеках появляются грязно-зеленые разводы), но также вызывают активную коррозию натеков за счет биохимических процессов. Развитию водорослей и мхов в наибольшей степени способствуют широко распространенные лампы накаливания, имеющие спектр, покрывающий нужды этих организмов. Лампы «холодного света» значительно меньше стимулируют рост зеленых водорослей и мхов.

Влияние туристических групп проявляется в температурном, аэрозольном, химическом и биологическом загрязнении пещеры. Расчеты температурного влияния довольно сложны, так как количество тепла, выделяемого человеком, варьирует в широких пределах и зависит как от факторов среды (температуры и влажности воздуха), так и от индивидуальных особенностей посетителей (возраста, скорости движения, одежды и др.) Наблюдения, выполненные в пещере Альтамира (Испания), показали, что один среднестатистический посетитель выделяет тепла в пределах от 82 до 116 ватт. Если человек движется, то этот показатель увеличивается до 170 ватт. Годовой приток тепла от посетителей (E , Дж/сек) может быть оценен по формуле (1):

$$E = 170 \cdot t \cdot 3600 \cdot N \quad (1)$$

где: t – среднее время экскурсии в часах;

N – общее количество посетителей в год.

Например, в пещере Мраморная этот показатель может достигать 14100000000 Дж/сек (максимальный поток 230000 чел./год (1992г.), продолжительность экскурсии 1 час). Тепло, выделяемое посетителями, повышает температуру воздуха в окрестностях экскурсионной трассы, время восстановления температуры после прохождения группы достигает нескольких десятков минут.

Поток экскурсантов может вызывать аэрозольное загрязнение пещерной среды. Исследованиями, проведенными в Кунгурской пещере (Урал), выявлено, что поток экскурсантов является серьезным источником аэрозольных загрязнений, повышающим природный фон на порядок и более. Измерения, проведенные при прохождении экскурсий в относительно «чистых» залах пещеры выявили некоторые закономерности. Группа экскурсантов (40 человек) увеличивает концентрацию аэрозоля размером 0,3 мкм в зоне от 2 до 4 м от экскурсионной трассы в 5 - 8 раз. Интенсивность «продукции» аэрозолей одним экскурсантом оценена в 10^9 частиц/мин. В дни, когда экскурсии не проводятся, за сутки концентрация аэрозолей падает почти на порядок. При моделировании встряхивания одежды имитирующем ходьбу, были получены спектры аэрозолей, сходные со спектрами, полученными при прохождении экскурсий. Движение ногами по полу пещеры, почти всегда увлажненному, не увеличивало концентрации аэрозолей. Таким образом, основным источником аэрозольного загрязнения при прохождении группы являются одежда и волосы экскурсантов. В пещере Мраморная один экскурсант генерирует около $6 \cdot 10^9$ частиц за одну часовую экскурсию. Такие же показатели и в пещере Эмине-Баир-Хосар.

Химическое загрязнение, вызываемое посетителями, заключается в выделении диоксида углерода. Любое увеличение концентрации CO_2 может повлиять на химическое равновесие пещерных вод и минеральных образований. Повышение концентрации CO_2 в пещере может существенно повысить агрессивность вод и вызвать коррозию натёков, кристаллов, наскальных рисунков. Например, в период интенсивного посещения пещеры Мраморная (летнее время) в галерее Сказок (объем 5020 м^3) в дневные часы постоянно находится около 40 человек. В результате этого фоновая концентрация CO_2 за день может быть повышена почти в два раза.

Биологическое загрязнение заключается в приносе посетителями спор, бактерий и органического материала. Это, наряду с тепловым загрязнением и освещением, провоцирует активное развитие мхов и водорослей вокруг источников света - так называемой ламповой флоры. Уже после первых месяцев эксплуатации пещер Красная, Мраморная и Эмине-Баир-Хосар, в них было установлено существенное увеличение численности микроорганизмов в пробах грунта и воздуха.

Основными мерами по уменьшению антропогенного влияния на природно-ландшафтные комплексы пещер являются:

1. Создание мониторинговой сети наблюдательных станций за изменением параметров пещерной среды. При разработке сети необходимо предусматривать возможность ее распространения на вновь вводимые в эксплуатацию спелеообъекты.

2. Для предотвращения изменений температуры и минерализации подземных вод, а также их загрязнения необходимо оборудование экскурсионных дорожек бортиками, высотой не менее 7 см, препятствующих попаданию загрязнения с бетонной дорожки.

3. Для ограничения приноса энергии и развития ламповой флоры система освещения должна быть разделена на подсистемы рабочего и зрелищного освещения. Это позволит использовать минимальное количество светильников, достаточное для экспозиции определенного участка пещеры. Установка системы дистанционного управления светом является наиболее активным способом борьбы с увеличением количества ламповой флоры. Тепловое загрязнение и рост флоры уменьшается при расположении светильников на расстоянии не менее 1,5 – 2 м от стен или натёков.

4. Оптимизация структуры и времени экскурсионного маршрута. Надо учитывать, что на туристическом маршруте есть транзитные участки, которые экскурсанты проходят без остановок и есть участки (смотровые площадки) где экскурсанты задерживаются в течение 5 – 10 мин. Для поддержания естественного режима влажности, температуры и содержания CO_2 в оборудованных галереях пещер необходим подсчет и определение оптимальной экскурсионной нагрузки.

5. Вход в пещеру (если оборудован естественный вход) должен быть оборудован решетчатой дверью, не препятствующей циркуляции воздуха и дающей свободный доступ для проникновения в пещеру обитающих в ней организмов (летучих мышей и др.).

Выводы

В статье рассмотрены этапы оборудования пещер Крыма для туристических целей

Приведены эколого-технические требования для оборудования пещер, позволяющие сохранить их как природно-ландшафтные объекты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дублянский В. Н. Карстовые пещеры Украины / В. Н. Дублянский, А. А. Ломаев. – Киев: Наукова думка, 1980. – 180 с.
2. Исаенко О. В. Красная пещера: страницы истории. Научно-популярный очерк / О. В. Исаенко. – Симферополь: Издатель ФЛП Лемешко К. А., 2011. – 92 с.
3. Козлов А. Ф. Два века в судьбе пещер Чатырдага / А. Ф. Козлов, В. Ф. Козлов // Крым. – М.: АНО ИЦ «Москвоведение», 2004. – С. 269 – 286.
4. Мальгин А. В. Русская Ривьера / А. В. Мальгин. – Симферополь: СОНАТ, 2004. – 352 с.
5. Сазонова Г. В. Вклад Крымско-Кавказского горного клуба в развитие отечественного туризма / Г. В. Сазонова // Природа. № 2. – Симферополь, 2007. – С. 29 – 37.
6. Тимохина Е. И. Охрана карстовых полостей Чатырдага: прошлое, настоящее, будущее / Е. И. Тимохина // Природа. № 2. – Симферополь, 2007. – С. 20 – 25.

УДК 502.36:711.558(477.75)

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ БЕРЕГОЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ РЕКРЕАЦИОННЫХ ЗОН

Иваненко Т.А., Ветрова Н.М.

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

В работе рассмотрены результаты исследования параметров экологического состояния прибрежных территорий западного берега Крыма. Проведена оценка экологической безопасности существующих берегозащитных сооружений в прибрежных рекреационных зонах с целью дальнейшего рекреационного освоения территории побережья Западного Крыма. Обоснованы варианты экологически безопасных технических решений для застройки и эксплуатации прибрежных рекреационных зон АР Крым.

Прибрежная рекреационная зона, экологическое состояние, берегозащитные сооружения.

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе под воздействием природно-антропогенных процессов состояние морских берегов характеризуется прогрессирующим их разрушением. Так, в широких масштабах ведется освоение морских побережий, курортное и гражданское строительство, при этом нарушается естественное состояние береговой полосы, что зачастую приводит к негативным экологическим последствиям. Вмешательство в природные береговые процессы с целью экологически безопасного освоения прибрежных рекреационных зон и защиты берегов от разрушения подразумевает обязательное научное обоснование предлагаемых технических решений, согласование предлагаемых решений с

природными элементами при соблюдении действующих нормативных документов в области экологической безопасности.

АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Общепризнано, что успешная разработка вопросов инженерного преобразования природной среды невозможна без решения проблем комплексного использования прибрежных ресурсов, охраны и восстановления природы береговой зоны. Существенный вклад в развитие теории динамики морских берегов, применения ее при решении задач берегоукрепления и строительства прибрежных гидротехнических сооружений внесли работы П.К. Божича и Н.Н. Джунковского [1, 2], А.М. Жданова, Б.А. Пышкина [3], Ю.М. Крылова, В.К. Штенцеля, П.С. Никерова, Ф.М. Шихиева, А.В. Мишина. Вопросы рационального освоения прибрежных территорий и охраны природной среды при строительстве портов, инженерной берегозащиты, эксплуатации подводных карьеров, а также загрязнении береговой зоны рассмотрены Г.А. Сафьяновым [4], В.А. Дергачевым [5].

Практические исследования на берегах Черного моря проводились Производственным и научно-исследовательским институтом инженерных изысканий в строительстве Госстроя СССР (ПНИИИС), институтами «Фундаментпроект», «ЧерноморНИИпроект», «УкрГИИИТиз», Институтом гидромеханики АН УССР, объединением «Крымгеология и др. Современные теоретические и прикладные исследования по изучению развития и динамики берегов, движения и динамики наносов, моделированию литодинамических процессов, исследованию трансформации волн в береговой зоне Крыма и экологической безопасности освоения прибрежных рекреационных зон выполняются учеными Морского гидрофизического института НАНУ Ивановым В.А., Горячкиным Ю.Н., Фоминым В.В., Удовиком В.Ф. [6, 7], проектные работы в береговой зоне осуществляются ЦНТУ «Инжзащита», которым в 1986 году была разработана «Региональная схема инженерной защиты Черноморского побережья Крымской области и Горного Крыма» [8].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЙ

При проектировании технических сооружений защитного назначения различных типов необходимо решать комплекс задач, которые учитывают воздействие волн и течений на сооружения, влияние проектируемых объектов на смежные участки берега, режим движения наносов, подводный береговой склон, вдольбереговые течения и водообмен. В настоящее время к числу задач относится соблюдение ограничений, обусловленных требованиями экологической безопасности и охраны природы.

В мировой практике морского гидротехнического строительства важнейшей задачей считается разработка эффективных экологически безопасных конструкций волногасящих сооружений, поскольку применяемые в настоящее время строительные конструкции, как правило, трудоемки, неэкологичны и требуют больших затрат времени на их изготовление и монтаж.

Опыт эксплуатации берегозащитных сооружений показал, что с увеличением рекреационных возможностей возникают нежелательные экологические эффекты:

- повышение техногенной нагрузки на береговую полосу;
- изменение водообмена и вдольберегового перемещения наносов;
- нарушение природных экосистем.

Данные процессы присутствуют практически повсеместно, но в береговой зоне западного побережья Крыма наблюдается устойчивая тенденция к сокращению ширины пляжной полосы в результате действия природных и усиливающихся антропогенных факторов и пляжи не могут гасить энергию штормового волнения и защищать берег от разрушения. Под угрозой устойчивость берегов и многих рекреационных сооружений в прибрежной рекреационной зоне (пос. Фрунзе, пос. Николаевка, с. Песчаное, п. Кача, п. Учкеевка). Предусмотренные в генеральных схемах традиционные методы берегозащиты по оценкам специалистов являются экологически недостаточно эффективными. При этом применение железобетонных сооружений в условиях Западного побережья Крыма, где практически каждый участок берега представляет собой возможную (или существующую)

зону рекреационного пользования не может быть признано экологически безопасным для прибрежных территорий.

Цель данного исследования – обосновать технические решения защиты морских берегов рекреационных зон для улучшения экологического состояния прибрежных рекреационных зон на основе результатов анализа экологического состояния прибрежной зоны Западного Крыма.

ИЗЛОЖЕНИЕ МАТЕРИАЛА И РЕЗУЛЬТАТЫ

Для исследования протекающих природно-техногенных процессов был определен участок побережья от пос. Фрунзе Сакского района до Севастопольской бухты (детальные исследования были проведены в пределах участков с. Песчаное до северной окраины пос. Николаевка, с. Береговое – с. Угловое), который активно разрушается морем. Данная территория в настоящее время достаточно активно осваивается в рекреационном направлении.

Выполненный ранее авторами [9, 10, 11, 12] анализ экологической ситуации и комплексная оценка уровня нарушенности экологического состояния прибрежной рекреационной зоны в рамках инженерно-экологического мониторинга позволили выявить основные нарушения экологического состояния (рис. 1).

С учетом выявленных нарушений экологического состояния рассмотрены возможные подходы к снижению, стабилизации и сохранению экологически безопасных параметров территорий и рекреационных ресурсов.

Для выделенных участков с характерным нарастанием нарушений экологического состояния обоснована целесообразность внедрения технических решений – варианты технических решений по стабилизации пляжей на участках активных абразионных процессов (на примере участка в с. Андреевка и участке между с. Песчаное и Береговое, пгт. Николаевка).

Для участков активизации абразионных процессов в с. Андреевка и между с. Песчаное и Береговое с характерным нарастанием нарушений экологического состояния необходимо внедрение технических решений по реконструкции разрушенной пляжной полосы. Так, на исследуемом участке оздоровительного комплекса КНУ им. Шевченко в с. Береговое сохранилась откосно-ступенчатая набережная протяженностью 390 м. Пляж размыт, при волнении силой более 3 баллов гашение волн происходит на упоре и нижних ступенях набережной, упор местами нависает над поверхностью пляжа.

Авторами рекомендуется восстановление пляжной полосы шириной 50 м, поскольку выявлено, что при 20 метровой ширине пляжа уже происходит процесс погашения волн в 4-6 баллов. Наличие пляжа шириной более 20 м. снижает интенсивность размыва и повышает устойчивость берега при условии периодических подпиток его пляжеобразующим материалом.

Для восстановления пляжа шириной 50 м рассчитано количество отсыпаемого материала и стоимость работ (рис. 2, табл. 1).

Поскольку насыпной материал не должен образовывать новый клиф, следует дополнительно досыпать песчано-гравийную смесь для плавного спуска - полученный объем увеличивается в 2 раза, в результате для одного пляжа в существующих условиях потребуется 15600 м³ насыпного материала.

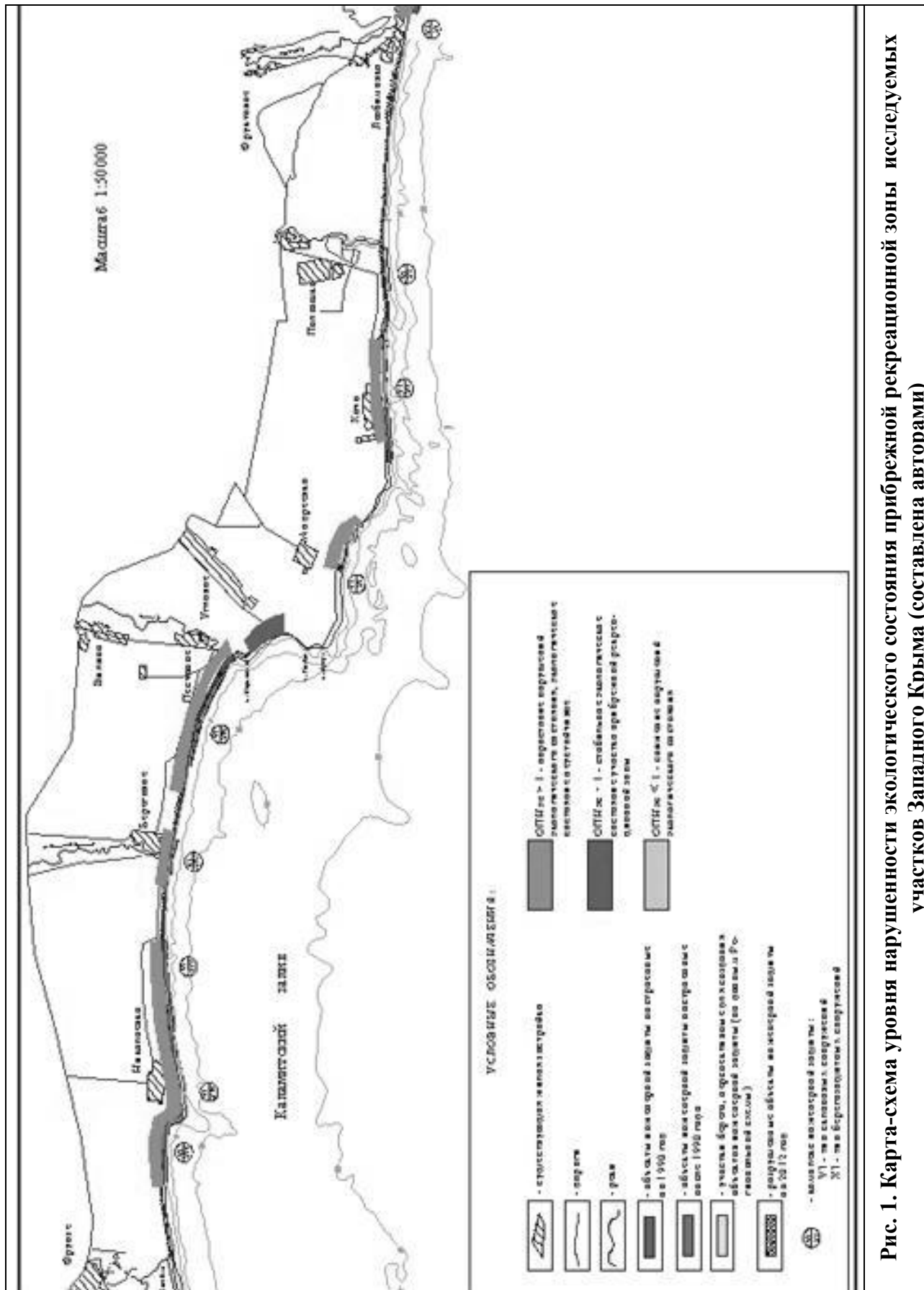


Рис. 1. Карта-схема уровня нарушения экологического состояния прибрежной рекреационной зоны исследуемых участков Западного Крыма (составлена авторами)

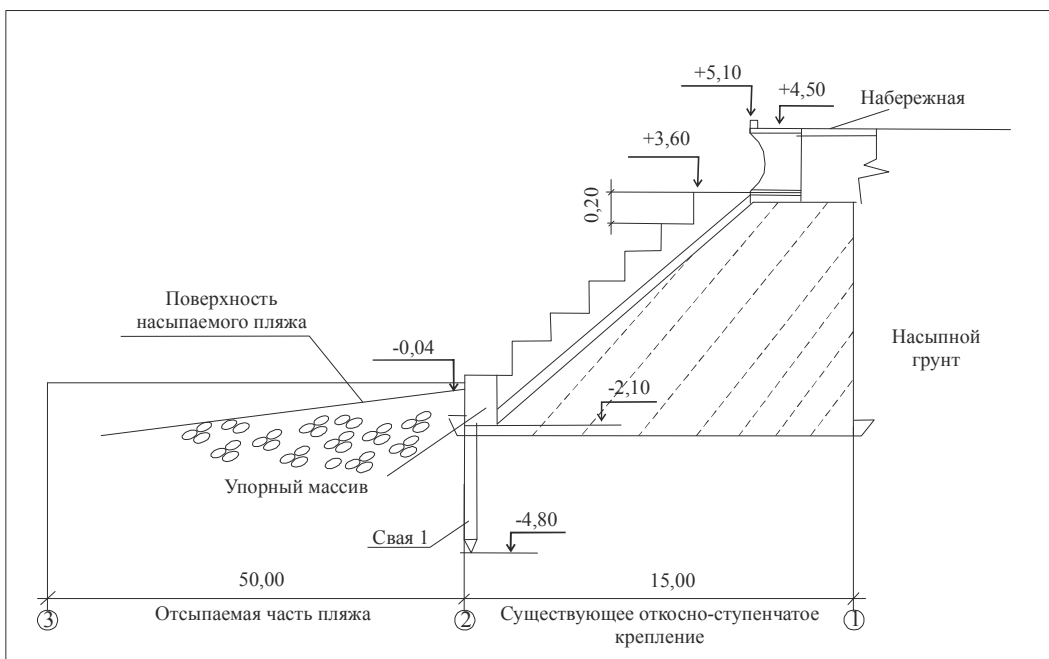


Рис. 2. Поперечный разрез участка пляжа с откосно-ступенчатой набережной с. Береговое (составлен авторами)

Затраты на восстановление пляжа (Z) включают затраты на приобретение материала, стоимости доставки и стоимости работ по выравниванию материала:

$$Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 \quad (1)$$

Где Z_1 – затраты на приобретение материала, грн

Z_2 – стоимость доставки материала, грн

Z_3 – работы по выравниванию материала, грн.

Побережье данного оздоровительного комплекса песчано-галечное, поэтому в качестве насыпного материала выбрана песчано-гравийная смесь, которая будет доставляться из близлежащего карьера. После пересчета песчано-галечной смеси на массу получим, что для подсыпки 15600 м^3 потребуется 20280 т песчано-гравийной смеси (табл. 1).

С учетом стоимости песчано-гравийной смеси (Ценообразование №5, 2013 г), чтобы досыпать необходимый объем, нужно затратить $Z_1 = 1482000$ грн. Чтобы доставить 20280 т песчано-гравийной смеси, нужно затратить $Z_2 = 516578$ грн. Общая сумма затрат составит $Z = 3150284$ грн.

Таблица 1

Характеристики проекта отсыпки пляжа в с. Береговое

№ п/п	Наименование	Ед. изм	Значение
1	Расчетная длина пляжа	м	390
2	Расчетная ширина пляжа	м	50
3	Отсыпaeмый объем песчано-гравийной смеси	м^3	15600
4	Масса отсыпаемого материала	т	20280
5	Общая сумма затрат, в том числе:	грн	3150284
	затраты на приобретение материала	грн	1482000
	затраты на доставку материала	грн	516578
	затраты на выполнение работ	грн	1151706

Следует отметить, что в настоящий период санаторно-оздоровительные комплексы выделяют средства на поддержание пляжей на собственных территориях, постоянно досыпая их, но выполняют этот процесс не в полной мере и на большинстве участков санитарные нормы по площади пляжа – 5 м^2 на 1 человека – не выдерживаются; пляжи, находящиеся на балансе местных органов власти часто не ремонтируются, что формирует опасности для объектов, находящихся на них. Высокая подвижность песка в штормовой период приводит также к значительным эксплуатационным затратам после завершения строительства. В ряде

случаев оказывается целесообразным использование в качестве пляжеобразующего материала для восстановления песчаных пляжей галечно-гравийной смеси, что позволяет в несколько раз сократить объем отсыпаемого материала и стоимость берегозащитных мероприятий при сохранении равной волногасящей способности пляжа. Вследствие большей устойчивости гравийно-галечного пляжа существенно сокращаются затраты на поддержание его в стабильном состоянии.

Как показывает анализ предложенного проекта восстановления пляжного покрытия, воссоздание размытых пляжей, а также их стабилизация на участках размыва требует отсыпки значительных объемов пляжеобразующего материала, что обуславливает высокую стоимость мероприятия берегозащиты. Такой метод берегозащиты доступен сейчас только крупным рекреационным учреждениям или должен иметь региональное финансирование.

Исследования природных процессов под воздействием антропогенных нагрузок еще раз подтвердили, теоретические основы разработки технических решений: все берегоукрепительные работы должны проводиться с учетом особенностей определенной местности; берегозащитные сооружения должны регулировать перемещение наносов в прибрежной зоне моря; мероприятия по защите берега должны сохранять и улучшать экологическую обстановку в прибрежной зоне моря и прилегающих к ней участках суши.

По результатам исследования закономерностей формирования экологического состояния территорий с учетом уровня нарушенности параметров природных систем для участка в районе пгт. Николаевка обоснована целесообразность выполнения берегозащитных мероприятий, согласованных с природными процессами участка берега в данном населенном пункте.

Предпринимаемые ранее попытки берегозащиты в виде строительства коротких бун мелкого заложения, возведение откосно-ступенчатого крепления не имели достаточного инженерного обоснования, что сказалось на уровне их эффективности и долговечности. Большая часть возведённых сооружений в пределах прибрежной рекреационной зоны Западного Крыма полностью разрушена, а сохранившаяся не выполняет их функций [9].

В результате проведенных исследований участков побережья Западного Крыма в бухте с. Угловое был выявлен процесс трансформации волн глыбовыми навалами в основании обрывов и подводной грядой, который позволяет обеспечивать сохранение пляжа как рекреационного ресурса [11]. Блоки песчаников и конгломератов из берегового обрыва при обрушении в результате абразии, определяют надводное и подводное накопление глыб (прослежены до глубины 5 м). Они обваливаются крупными блоками (размер блоков: длиной 3-7 м, шириной до 2-2,5 м, толщиной до 0,5-2 м), выносятся в море, и, перемещаясь по морскому дну на расстояние 100 м и более, останавливаются, образуя при этом ленточные подводные острова, ориентированные как вдоль, так и поперек линии берега, что зависит от направления штормовой волны. Образование подводных поднятий на 1-3 м приводит к трансформации берега и волн, что приводит к сохранению ширины пляжа в данном месте. Анализ полученных физико-механических свойств горных пород выявил, что по прочностным свойствам исследуемые образцы песчаника и гравелита могут быть отнесены к породам более высокой плотности (диорит $\rho=2,4-2,9 \text{ г/см}^3$; мраморизованный известняк $\rho=2,6-2,7 \text{ г/см}^3$) и эти породы могут быть использованы для берегозащитных конструкций согласованных с природными процессами. Данный процесс уплотнения слабых пород песчаников и мелкогалечных конгломератов происходит в природных условиях: насыщаются карбонатными растворами, и попадая в море в виде естественных блоков, закрепляются на подводном склоне. Этот природный процесс увеличения прочности исследуемых пород в морской среде, можно рассматривать как закономерность, которую возможно использовать для создания гидротехнических берегозащитных сооружений, способствующих сохранению пляжной полосы.

На основании выполненных исследований и выявленных закономерностей сохранения параметров пляжа, авторами для участка берега в пгт. Николаевка

предлагаются два варианта строительства подводных искусственных берегозащитных сооружений:

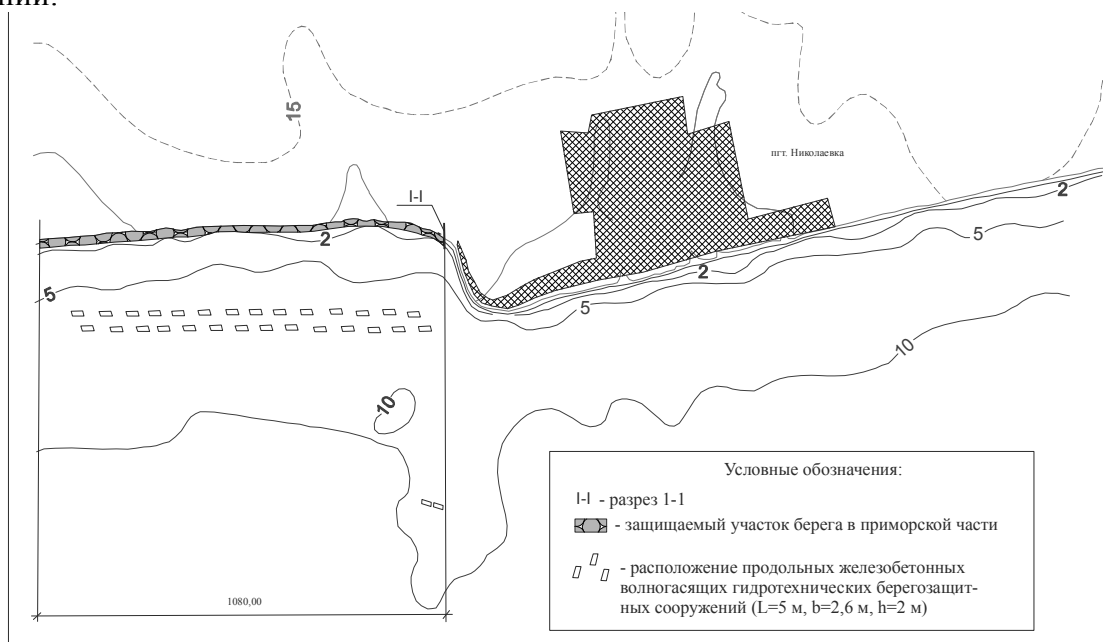


Рис. 3. Схема размещения продольных гидротехнических берегозащитных сооружений в бухте пгт. Николаевка (составлена авторами)

вариант 1 – размещение продольных железобетонных волногасящих гидротехнических берегозащитных сооружений, расположенных в шахматном порядке параллельно берегу на глубинах 5-10 м на расстоянии 100 м от берега в виде блоков размером: $L = 5\text{ м}$, $b = 2,6\text{ м}$, $h = 2\text{ м}$ для предупреждения выноса пляжеобразующего материала (рис 3);

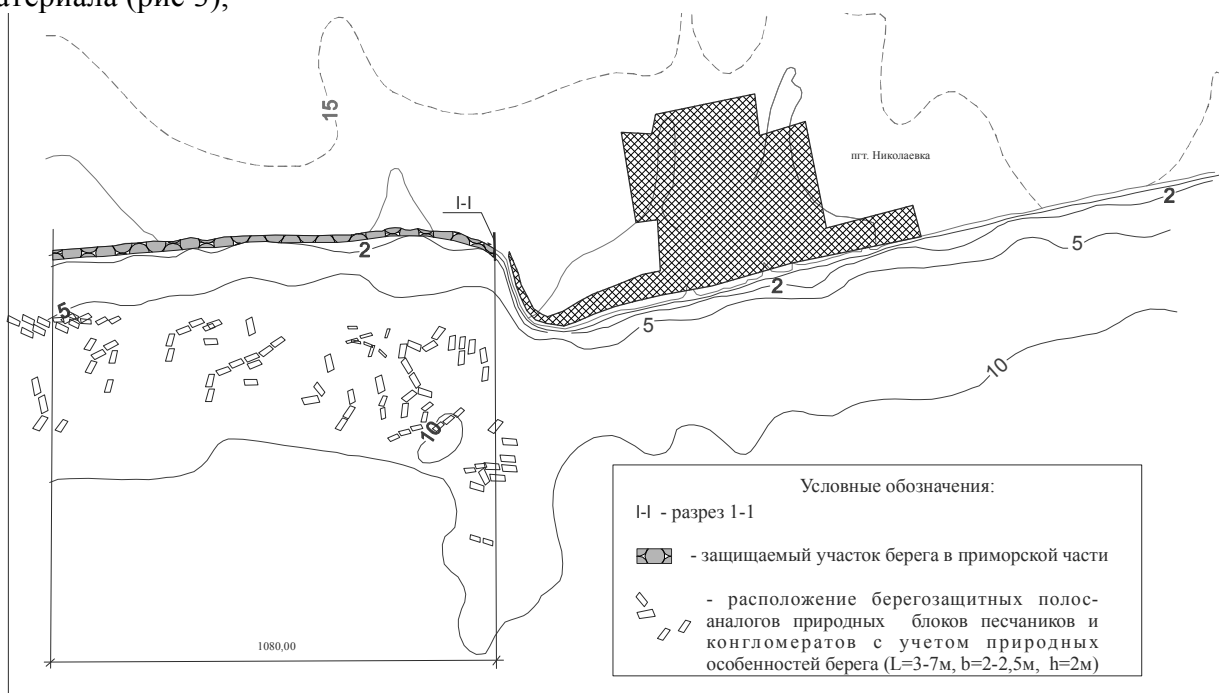


Рис. 4. Схема размещения берегозащитных полос-аналогов природных подводных глыб песчаников и конгломератов в бухте пгт. Николаевка (составлена авторами)

вариант 2 (рис. 4) – размещения берегозащитных полос-аналогов природных подводных блоков песчаников и конгломератов в бухте пгт. Николаевка в прибрежной зоне моря, которые располагаются в мелководной зоне на глубинах до 10 м на расстоянии до 200 м от берега в виде блоков размером $L=3-7\text{ м}$, $b=2-2,5\text{ м}$, $h=0,5-2\text{ м}$.

Учитывая, что бухты в пгт. Николаевка и с. Угловое подобны по природным параметрам (геолого-геоморфологическое строение берега и дна, мощность вдольберегового потока наносов, ветро-волновая деятельность) наиболее предпочтительным вариантом берегозащиты по результатам исследования природно-антропогенных закономерностей формирования экологического состояния пляжной полосы с учетом затрат на внедрение является вариант 2 технического решения. Данное сооружение следует рассматривать не как каменную наброску, а как инженерную конструкцию, согласованную с природными процессами, имеющую заданные параметры, ограничивающие вынос пляжного материала и грунта основания. Так же при отсутствии естественного вдольберегового потока наносов для формирования пляжа требуемой ширины предполагается отсыпка искусственного песчано-гравийного пляжа на защищаемом участке. По расчетам затраты на строительство 2 варианта берегозащиты в ценах 2012 года составят 476,3 тыс.грн, что на 62% меньше относительно затрат по 1 варианту. восстановление пляжа – 3,17 млн.грн.; на

На основании приведенных технико-экономических расчетов, вариант 2 технического решения по строительству подводных ленточных волногасящих сооружений – аналогов природных глыб песчаников и мелкогалечных конгломератов в бухте пгт. Николаевка, принят к внедрению ПАО «Крымстрой».

Выводы

1. Техничко-экологический анализ эксплуатации существующих берегозащитных сооружений Крыма позволил выявить как положительные, так и отрицательные результаты. Целью строительства комплекса было остановить оползни и абразионное отступление береговой линии, потери прибрежных территорий, разрушение объектов курортно-рекреационного комплекса. К положительным относится увеличившийся приток рекреантов в села Песчаное, Береговое, Угловое. К отрицательным эффектам следует отнести изменения гидрохимических и санитарных показателей вод прибрежной зоны.

2. В проекте берегозащитных мероприятий выбор метода защиты должен быть учитывать природные условия литодинамической системы. В тоже время необходимо соблюдать ограничения, обусловленные требованиями экологической безопасности и охраны природы, обеспечения водообмена и санитарно-гигиенических норм на акватории расположения сооружения. Берегозащитные мероприятия должны обеспечивать минимальные нарушения в настоящем времени и будущем природных факторов в физическом и экологическом аспектах. При выборе типа, размеров и расположения берегозащитных сооружений в литодинамической системе должно учитываться не только достижение поставленной цели на защищаемом участке побережья, но также влияние проектируемых берегозащитных сооружений и мероприятий на примыкающие к нему участки побережья.

3. На основании выявления типов территорий по степени нарушенности их экологического состояния, обоснована целесообразность внедрения комплекса технических решений улучшению экологического состояния прибрежных рекреационных зон Западного Крыма, согласованных с природными элементами территории: вариант 1 – размещение продольных железобетонных волногасящих гидротехнических берегозащитных сооружений, расположенных в шахматном порядке (для предотвращения выноса пляжевого материала) параллельно берегу на глубинах 5-10 м на расстоянии 100 м от берега (размер сооружений: $L=5$ м, $b=2,6$ м, $h=2$ м); вариант 2 – размещение берегозащитных полос-аналогов природных подводных блоков песчаников и конгломератов (как в бухте с. Угловое) в прибрежной зоне моря, которые будут расположены в мелководной зоне на глубинах до 10 м на расстоянии до 200 м от берега. Представленные технические решения внедрены в организациях Крыма. Разработанные технические решения обеспечивают снижение уровня нарушенности экологического состояния прибрежных рекреационных зон Западного Крыма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Божич П.К. Морское волнение и его действие на сооружения и берега / П.К. Божич, Н.Н. Джунковский – М.: Издательство министерства строительства и предприятий машиностроения, 1949. – 333 с.
2. Джунковский Н.Н. Введение в гидротехнику / Н.Н. Джунковский – М.: Издательство литературы по строительству и архитектуре, 1957. – 301 с.
3. Пышкин Б.А. Регулирование вдольберегового потока наносов / Б.А. Пышкин, Е.С. Цайтц, Ю.Н. Сокольников – Киев: Наукова думка, 1972. – 136 с.
4. Сафьянов Г.А. Береговая зона океана в XX веке / Г.А. Сафьянов – М.: Мысль, 1978. – 264 с.
5. Дергачев В.А. Экономико-экологические проблемы морской среды / В.А. Дергачев, М.Т. Мелешкин, А.И. Уемов – К.: Наукова думка, 1982. – 224 с.
6. Природопользование на Черноморском побережье Западного Крыма: современное состояние и перспективы развития : под ред. Иванова В.А. / В.А. Иванов, В.П. Ястреб, Ю.Н. Горячкин, А.В. Прусов, В.В. Зима, В.В. Фомин; - НАН Украины, Морской гидрофизический институт. – Севастополь, 2006. – 324 с.
7. Горячкин Ю.Н. Современное состояние черноморских берегов Крыма / Ю.Н. Горячкин, В.А. Иванов // Доповіді Національної академії наук України. – 2010.– № 10.– С. 78–82.
8. Региональная схема инженерной защиты Черноморского побережья Крымской области и Горного Крыма / В.А. Зайцев, А.И. Максимов, А.Т. Рыбалка / Украинский государственный республиканский институт по проектированию объектов коммунального строительства «Укрюжгипрокоммунстрой» Крымский филиал. – Симферополь, 1989. – 114 с.
9. Рыжий М.Н. Комплексные мониторинговые исследования состояния берега и берегоукрепительных сооружений Западного Крыма / М.Н. Рыжий, З.Д. Сапронова, Т.А. Иваненко, А.М. Артемьева, В.С. Снегирев // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2009. – Вып. 20. – С. 7-10.
10. Иваненко Т.А. Геоморфология и динамика берегов Западного Крыма / Т.А. Иваненко, З.Д. Сапронова // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2011. – Вып. 25. – С. 19-25.
11. Иваненко Т. А. Инженерно-геологические особенности побережья Западного Крыма / Т. А. Иваненко // Строительство и техногенная безопасность. — 2012. — Вып. 43. — С. 85—92.
12. Иваненко Т.А. Комплекс экологически безопасных технических решений застройки прибрежных рекреационных зон / Т. А. Иваненко, Н. М. Ветрова // Проблеми екології. — 2013. — № 1 (31). — С. 91—99.

УДК 622.276

МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МОРСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

Чемодуров В.Т., Пшеничная-Ажермачёва К.С.

Национальная академия природоохранного и курортного строительства, Украина

Рассматриваются особенности освоения морских месторождений углеводородов, в частности, на Азово-Черноморском шельфе Украины. Показаны факторы, которые могут привести к большим отрицательным экологическим и экономическим последствиям. Приведены примеры аварий при добыче углеводородов на шельфе

морей. Даются некоторые рекомендации по снижению риска при добыче углеводородов из морских месторождений.

углеводороды, морские месторождения, аварии, экологическое равновесие

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время Украина имеет большой дефицит углеводородного сырья, притом, что природные запасы этого сырья, по прогнозам геологов, вполне могут обеспечить потребность промышленности и жилищного комплекса на многие годы. Страна обеспечена углеводородами за счет собственной добычи на 20-25%, остальной объем углеводородов приходится приобретать в России, Казахстане, Туркменистане и других государствах.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В разработанной правительством Украины программе предполагается к 2030 г. довести обеспеченность собственными углеводородами до 90-95% (рис.1). Для выполнения поставленной задачи предполагается интенсивное развитие добычи нефти и газа на Азово-Черноморском шельфе Украины. Уже к 2015 г. намечено увеличить добычу на Азово-Черноморском шельфе в три раза по сравнению с 2012 г. Это очень сложная задача, но при соответствующем оснащении специальной техникой и высококвалифицированными кадрами она выполнима [1, 2].

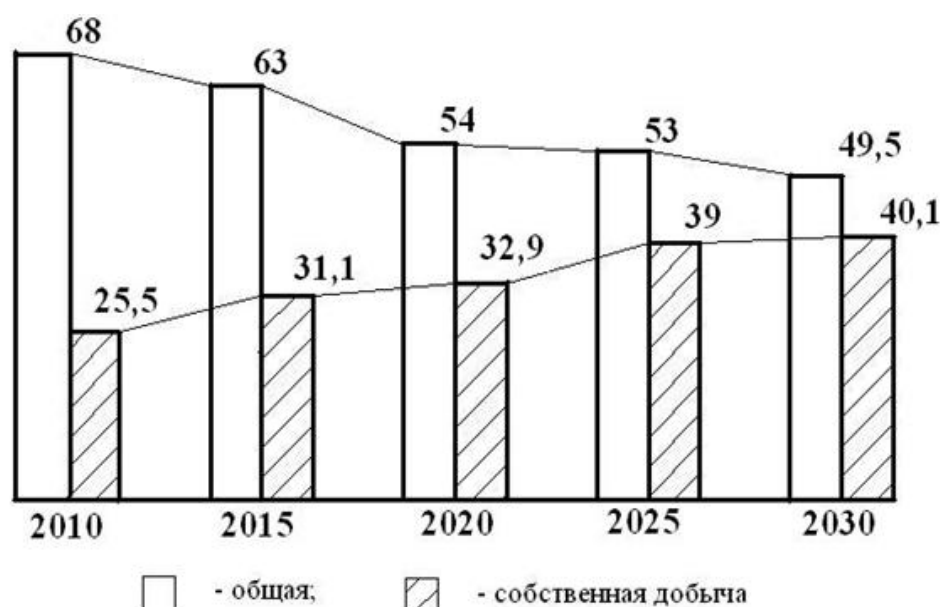


Рис.1. Динамика потребности Украины в природном газе и увеличение собственной добычи, млрд. м³

Уже в настоящее время на северо-западе Черного моря развернули работу пять самоподъемных буровых платформ, две из которых — отечественного производства, а три закуплены в Сингапуре (Украина заплатила за них 1,2 млрд. долларов).

Такие сооружения не только дорого стоят, но при эксплуатации могут нарушить экологическое равновесие окружающей среды, а иногда и нанести значительно более тяжелые последствия [3].

ЦЕЛЬ, ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью исследования является поиск путей уменьшения риска нарушения экологического равновесия при разработке морских месторождений углеводородов.

Уменьшение риска при эксплуатации таких объектов возможно только за счет постоянного мониторинга всех факторов: от постановки сооружения на точку разведочного бурения и до конца эксплуатации месторождения [4].

Весь период освоения углеводородного месторождения на морском шельфе можно разделить на три условных этапа:

- установка сооружения и проведение буровых работ;

- - эксплуатация месторождения;
- - завершение эксплуатации (демонтаж).

Прежде чем приступить к первому этапу, производитель должен иметь разработанный проект или технические условия, которые включали бы ряд необходимых предпосылок либо рекомендаций, оценивающих характер и масштабы воздействия на окружающую среду, для выбора технологических схем производства работ и обустройства месторождения. Эти предпосылки должны количественно определять воздействие оборудования и технологических процессов на экосистему.

В основу рекомендаций должна быть положена оценка воздействия технологических процессов не только во время строительства и эксплуатации сооружения, но и при его перебазировании и демонтаже, а также при экстремальных воздействиях.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Полученные количественные оценки необходимо использовать как критерии эффективности при решении многокритериальных задач либо как ограничения при однокритериальной постановке задачи по оптимизации выбора технологических схем производства работ по обустройству месторождения.

Опыт буровых работ при разведке и добыче углеводородов на шельфе морей показывает, что при бурении скважины на глубину 1000 м образуется до 80 т бурового шлама, который зачастую сбрасывается в море. Большое загрязнение морских вод происходит при спуско-подъемных операциях. Загрязнение акватории вокруг морского сооружения происходит и по другим причинам.

В настоящее время многие предприятия, ведущие морскую добычу углеводородов, вкладывают значительные средства в технологии, обеспечивающие природоохранные меры. В первую очередь, это сбор и хранение технологических отходов, нефтесодержащих вод и т. п. Рассматривается их доставка на берег и утилизация. Внедряются водооборотные циклы, изучаются возможности использования отходов как сырья для других отраслей промышленности и сельского хозяйства, что позволит экономически эффективно реализовать капитальные вложения в природоохранные мероприятия и предотвратить возможные экологические катастрофы.

Экологические факторы усиливают воздействие на технико-экономические показатели освоения месторождений, в частности, увеличивают сроки их ввода в эксплуатацию и расходы на проведение обязательных природоохранных мероприятий. Это необходимо учитывать как при планировании поисково-разведочных работ, так и при эксплуатации месторождений.

В настоящее время около 30% мировой добычи углеводородов осуществляется из морских месторождений. Число сооружений для добычи углеводородов ежегодно возрастает. И несмотря на ужесточение требований к безопасной эксплуатации морских месторождений, мелкие и крупные аварийные ситуации возникают довольно часто.

Здесь приведем несколько примеров крупных аварий морских платформ, приведших к большим экономическим потерям, человеческим жертвам и оказавших заметное отрицательное воздействие на экологию региона.

В 1964 г. в Мексиканском заливе на платформе «СП Байкер» компании «Пан-Америкен Петролеум» произошел пожар вследствие выброса нефти и сопутствующего газа через скважину. 22 человека погибли.

В 1977 г. в Северном море на платформе «Экофик Браво» компании «Филипс Петролеум» произошла авария, сопровождавшаяся разливом 28000 т нефти. К счастью, вышедшие из скважины нефть и газ не воспламенились. Устранить аварию удалось через неделю. Это самая крупная авария в Северном море за время разработки углеводородных месторождений.

В 1979 г. в Мексиканском заливе на платформе «Седко 135Ф» компании «Петролеос Мехико» произошла авария, в результате которой 480000 т нефти попало в воды залива. Вышедшие на поверхность газ и нефть воспламенились. В итоге платформа затонула, 120000

т нефти осели на дно залива. Авария произошла в 270 км от побережья США, однако побережья Техаса оказались серьезно загрязнены. Вылов биоресурсов сократился на 50-70%.

В 1988 г. в Северном море на платформе «Пайпер Альфа» компании «Оксидент» произошла авария, унесшая жизнь 162 человек. По числу погибших эта авария превосходит катастрофу с полупогружной платформой «Александр Кленанд» в норвежском секторе Северного моря, опрокинувшейся в марте 1980 г. в результате разрушения опорных конструкций, когда погибло 123 человека из 227, находившихся на ней. Размер ущерба составил 1,3 млрд долларов.

21 апреля 2010 г. в Мексиканском заливе на платформе «Дипуотер Хорайзн» компании «Бритиш Петролеум» произошла авария, в результате которой в залив вылилось 670000 т нефти, из которых только 110000 т нефти были подняты всеми средствами борьбы с разливом. Нефтяное пятно распространилось на площади порядка 75000 км² (для сравнения — это примерно 20% поверхности Черного моря, притом что более ста судов боролись с разливом нефтяного пятна). Согласно предварительным оценкам, на ликвидацию последствий экологической катастрофы потребуется 30-40 лет или даже больше. Аварию на платформе «Дипуотер Хорайзн» специалисты называют «нефтяным Чернобылем».

Только несколько примеров, взятые из сотен известных аварий, показывают, что безаварийная добыча углеводородов на шельфе морей по сей день остается большой проблемой.

ОСОБЕННОСТИ ОСВОЕНИЯ АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОГО ШЕЛЬФА

По данным геологов, Азово-Черноморский шельф Украины имеет большие запасы углеводородов. Но, несмотря на это, Украина испытывает большой дефицит нефти и газа. Это результат недостаточного внимания к собственной добыче углеводородов, при этом затрачиваются большие средства на их покупку у соседних государств.

Если Мексиканский залив и Северное море имеют поверхность и объем воды в несколько раз больше, чем Черное море, при этом их акватории открыты для течений и смены объемов вод, то Черное и Азовское моря представляют собой полузакрытые водоемы, где смена воды происходит крайне медленно. А это даже при малых авариях на морских платформах может вызвать большие отрицательные последствия не только для самого моря, но и для стран, расположенных вокруг него.

Кроме того, Черное море имеет другие особенности. Около 87% объема вод Черного моря насыщены сероводородом. Время от времени в результате активности газовых вулканов он в больших концентрациях выходит на поверхность моря и загорается. Что произойдет, если в этом случае на поверхности моря будут находиться разливы нефти или фонтанировать газ, пожалуй, в настоящее время никто сказать не может.

Наличие сероводорода, растворенного в воде, пагубно влияет на прочность стальных конструкций. В контакте с сероводородом сталь наводораживается, становится хрупкой, и при определенных условиях элементы могут разрушаться при напряжениях значительно меньше, чем усталостная прочность в обычных условиях.

Черное и Азовское моря расположены в зоне высокой сейсмической опасности. Здесь могут происходить землетрясения интенсивностью 7-9 баллов по шкале Рихтера. Поэтому морские платформы на шельфе Черного моря должны обладать соответствующей сейсмостойкостью. А Азовское море в зимний период покрывается льдом, который во второй половине зимы под действием сильных ветров предрасположен к дрейфу [5].

При разработке проекта морской платформы, ее возведении и эксплуатации должны быть рассмотрены все возможные ситуации, способные привести к малым или большим аварийным ситуациям, и на каждый рассмотренный случай должны быть составлены указания для обслуживающего персонала, что нужно делать, чтобы не допустить аварии и избежать катастрофы.

Авария 21 апреля 2010 г. на платформе «Дипуотер Хорайзн» в Мексиканском заливе показала, что такие указания не были разработаны, в результате нефть из скважины фонтанировала три месяца, пока велись попытки остановить ее. Если бы такая ситуация была

рассмотрена заранее, то последствия аварии были значительно меньше. Окончательный возможный ущерб от произошедшей катастрофы еще не подсчитан, но он будет значительно больше 40 млрд. долларов.

ВЫВОДЫ

1. Азовское и Черное моря являются полузакрытыми акваториями, в которых обновление вод происходит очень медленно.
2. Азово-Черноморский шельф расположен в зоне высокой сейсмической активности.
3. Акватория Азовского моря ежегодно покрывается льдом, который дрейфует под действием ветров.
4. В Черном и Азовском морях достаточно активно проявляют себя газовые вулканы.
5. Все вышесказанное указывает на необходимость постоянного мониторинга и тщательной проработки проектов освоения углеводородных месторождений на Азово-Черноморском шельфе Украины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

13. Ажермачёв Г.А. Стратегия увеличения добычи углеводородов на шельфе Украины. / Ажермачёв Г.А., Иванов С.И. // Строительство и техногенная безопасность. Сб. научных трудов. – Симферополь: КИПКС, 2002. – Вып.6. – С.144-147.
14. Ажермачёв Г.А. Разработка морских месторождений углеводородов на шельфе Черного моря и вопросы экологии. / Ажермачёв Г.А., Ажермачёв С.Г., Молошный В.В. // Збірник наукових праць Українського інституту ім. В.М. Шимановського. — Київ: Видавництво «Сталь», 2011. – Вип.7. – С.12-18.
15. Vielvoye R. Piper Alpha tragedy focuses attention on safety. / Oil and Gas. J., №41, 1989. – P.38-40.
16. Jones A.M. The environmental impact of North Sea oil. / Sci. Progr. №4. 1989. – P.457-460.
17. Ажермачёва К.С. О причинах наклона опытного ледостойкого основания в акватории Азовского моря. / Ажермачёва К.С. // Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського. — Київ: Видавництво «Сталь», 2011. – Вип.7. – С.6-11.

УДК 674.658

ОЦЕНКА ОПАСНЫХ И ВРЕДНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СИЛОСОВ МЕТОДОМ ПОДРАЩИВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ШЕВРОВ

Шаленный В.Т.¹, Ковалев А.А.¹, Попов А.Г.¹, Чёрная М.Л.¹, Кислица Л.В.²

¹*Национальная академия природоохранного и курортного строительства,*

²*Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры»*

Произведен анализ опасных и вредных производственных факторов при монтаже металлических силосов методом подращивания с использованием шевров. Произведен проверочный расчет монтажного шевра и опорной фермы.

Профессиональный риск, опасный и вредный производственный фактор, силос, энергетические затраты, монтаж, шевр

ВВЕДЕНИЕ

Строительство - наиболее древняя сфера человеческой деятельности - всегда было сопряжено с опасностью возникновения травм, увечья и гибели людей. Объективно это связано с характером и спецификой строительных и монтажных работ, которые в большинстве своем выполняются на открытом воздухе в сложных природных и

климатических условиях, на территории действующих промышленных предприятий. Значительная часть этих работ выполняется в стесненных условиях, что служит причиной воздействия на работников опасных и вредных производственных факторов (ОиВПФ).

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Учитывая важность оценки профессиональных рисков, как отмечается в [2,4,5,6,10], для безопасности труда на рабочих местах, Европейское агентство по обеспечению здоровья и безопасности работников в 1996 г. опубликовало руководство о порядке проведения оценки рисков [16], которое может применяться в рамках Европейского Союза (ЕС), но на добровольной основе.

В настоящее время оценка профессиональных рисков для безопасности труда на рабочих местах пока является добровольной и в большей степени рекомендуется для тех, кто внедряет систему управления охраной труда в соответствии с требованиями стандарта OHSAS 18001 (этот стандарт наиболее часто применяется на предприятиях Украины).

В патенте [7] описана технология монтажа методом подращивания с помощью монтажного приспособления (шевра) с применением ручного труда монтажников, а в статье [9] приведена методика проектирования и производства работ по монтажу металлического силоса методом подращивания. В пособии [1] приведена методика подсчета динамической работы и мощности каждого цикла при возведении металлических силосов методом подращивания. Эти публикации явились основой для проведения дальнейших исследований по оценке опасных и вредных факторов предложенного технологического процесса.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью работы являлась оценка опасных и вредных производственных факторов при возведении металлических силосов методом подращивания для снижения их негативного воздействия, для чего решались следующие **задачи**:

- обобщение и анализ информации о возможности возникновения на данном производстве неблагоприятных ситуаций, которые могут привести к несчастному случаю или крупной поломке;
- оценка системы «человек – орудие труда – предмет труда – производственная среда – средства защиты», исходя из вероятности воздействия и возможной тяжести последствий;
- идентификация и инвентаризация опасных и вредных производственных факторов и степени их опасности;
- оценка опасных и вредных производственных факторов на рабочем месте с учетом возможности монтажника по выполнению физической работы и эргономических требований;
- проверочные расчеты несущей способности шевров для монтажа как наиболее ответственных элементов изучаемой производственной системы.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объекта исследования принято строительство перегрузочного терминала с отгрузкой зерновых и масличных культур на речной транспорт в городе Кременчуге по заказу крупнейшего зернотрейдера Украины ООО СП «НИБУЛОН». Фирма-подрядчик по монтажу силоса - ООО «ЕвроСтройСервис». Производилось возведение металлического зернохранилища емкостью 5,5 тыс. тонн зерна диаметром 22,15 м с количеством устраиваемых монтажных ярусов – 15 при помощи 29 шевров.

Процедура управления профессиональными рисками включает следующие три этапа: инвентаризация ОиВПФ, возникающих в процессе производственной деятельности; оценка профессионального риска воздействия ОиВПФ на работников с учетом применяемых мер безопасности; планирование мер безопасности по снижению степени профессионального риска путем применения адекватных степени риска мер безопасности.

Нормативный перечень ОиВПФ по строительным профессиям при возведении металлического силоса методом подращивания приведен в табл. 1, где принята их нижеследующая классификация:

- 1 - расположение рабочего места вблизи перепада по высоте 1,3 м и более;
- 2 - движущиеся машины, их рабочие органы, передвигаемые предметы;
- 3 - повышенное напряжение в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;
- 4 - обрушающиеся горные породы;
- 5 - самопроизвольное обрушение строительных конструкций, подмостей;
- 6 - падение материалов и конструкций;
- 7 - опрокидывание машин, средств подмащивания;
- 8 - острые углы, кромки;
- 9 - повышенное содержание в воздухе пыли и вредных веществ;
- 10 - шум и вибрация;
- 11 - повышенная или пониженная температура оборудования, материалов.

Таблица 1

**Нормативный перечень ОиВПФ по строительным профессиям при возведении
металлического силоса методом подращивания**

№ п.п.	Наименование профессий	Наименование ОиВПФ										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Кровельщики по стальным кровлям	+		+					+			
2	Монтажники стальных и бетонных конструкций	+	+					+	+			

Устройство первого, верхнего яруса силоса, включает в себя временное закрепление металлических панелей на переставную скобу в отверстиях для болтов, замоноличивание мест соединения панелей герметиком, завинчивание болтов с помощью механизированного инструмента (гайковерта) и работу по устройству ребер жесткости на только что смонтированном, очередном ярусе. Далее устанавливаются переставные металлические петли для временного закрепления к ним крюка цепной тали. Устраивается вспомогательная центральная мачта для возведения каркаса кровли силоса. Ведутся работы по устройству покрытия конусной кровли цилиндрического силоса на болтовом соединении механизированным инструментом. Устраивается грузоподъемное оборудование (шевр), где закреплен ручной подъемный полиспаст с храповым механизмом (таль). Ведется устройство «г»-образных ферм по периметру фундамента. Производится жесткая фиксация верхней части шевра с «г»-образной фермой подкосом. Далее ведется работа на ярус подъема, связанная с приложением определенных ручных усилий на полиспаст, вследствие чего конструкцию поднимают на заданную высоту ($\geq 1,1 \text{ м}$), фиксируя в подвешенном промежуточном состоянии. После чего цикл возведения повторяется аналогичным образом.

Произведем анализ ОиВПФ при монтаже металлических силосов методом подращивания. С целью более углубленного исследования регуляторных функций средств индивидуальной и коллективной защиты (СИЗ и СКЗ) на строительном объекте на базе модели анализа производственных факторов по работе [3] рассмотрим расширенную модель исследования.

Предлагаемая модель приводится в табличной форме (табл. 2) и преследует цель не просто детального анализа применения СКЗ и СИЗ для предотвращения негативного воздействия опасного и вредного производственного фактора, а более глубокой отработки процессов образования травмоопасных ситуаций в системе «человек – орудие труда – предмет труда – производственная среда – средства защиты».

Таблица 2

Анализ опасных и вредных производственных факторов при монтаже металлического силоса методом подрачивания

Наименование опасного или вредного производственного фактора	Источник возникновения (вид работ)	Меры безопасности по предупреждению травматизма (СКЗ и СИЗ)	Нормативные документы и акты Украины по охране труда
1	2	3	4
Падение с высоты	Работа на высоте по устройству покрытия кровли силоса	<u>СКЗ</u> : наряд-допуск, защита расстоянием, устройство вспомогательной центральной мачты и подмостей. <u>СИЗ</u> : каска строительная, предохранительный пояс монтажный, специальная обувь М _{ун} 200, перчатки.	НПАОП 0.00-1.15-07. Правила охраны труда во время выполнения работ на высоте.
Потеря устойчивости шевра	Неравномерный подъем конструкции силоса	<u>СКЗ</u> : защита расстоянием. <u>СИЗ</u> : каска строительная, специальная обувь М _{ун} 200, перчатки.	ОСТ 36-128-85 Устройства и приспособления монтажные. Методы расчета и проектирования.
Перенапряжение рук и ног монтажников	Складирование материалов и изделий	<u>СКЗ</u> : норма переноса тяжести для мужчин старше 18 лет – 50 кг. <u>СИЗ</u> : спецобувь М _{ун} 200, спецодежда Т _в .	НПАОП 63.11-7.04-84 Погрузочно-разгрузочные, складские и транспортные работы. Требования безопасности.
Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования	Подготовка отверстий в листах под болтовое соединение	<u>СКЗ</u> : применение кондукторов, проходные и конусные оправки, ломик для центровки отверстий. <u>СИЗ</u> : каска, спецобувь М _{ун} 200, спецодежда Т _в , очки, респираторы.	НПАОП 1.1.10-1.04-01 Правила безопасной работы с инструментом и приспособлениями.
Электроток свыше 0,01 А	Работа с электрическими инструментами, гайковертами, шлифовальными машинками. Повреждение изоляции проводов питания.	<u>СКЗ</u> : измерение сопротивления изоляции мегомметром на напряжение 500 В на протяжении 1 минуты при включенном выключателе, при этом сопротивление изоляции не менее 1 МОм; резиновые коврики, деревянные решетки с изолятором, предупреждающие знаки, ограждения, защитное зануление, заземление, отключение, защитная изоляция, молниеотводы и разрядники, указатели напряжения. Временная электропроводка для наружных и внутренних монтажных работ при работах на открытом воздухе и в особо опасных помещениях должна быть напряжением не выше 12 В. <u>СИЗ</u> : диэлектрические перчатки и галоши, инструмент с изолированными рукоятками (омедненный)	НПАОП 40.1-1.21-98 Правила безопасной эксплуатации электроустановок потребителей.

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
Скользкая поверхность	Работа на перекрытии кровли в зимнее время	<u>СКЗ</u> : испытание лестниц: деревянные - каждые полгода и металлические - один раз в год; ограждения; предохранительные и тормозные устройства; знаки безопасности. <u>СИЗ</u> : каски защитные; одежда рабочих должна плотно охватывать тело и не иметь свисающих концов и завязок. Руки должны быть защищены х/б перчатками или рукавицами из плотной ткани. Обувь рабочего должна быть нескользящей, с плоской подошвой.	ДБН В.1.2.-12-2008 «Система надежности и безопасности в строительстве. Строительство в условиях плотной застройки. Требования безопасности»
Пониженная температура, повышенная скорость движения воздуха, атмосферные осадки	Работы на открытом воздухе	<u>СКЗ</u> : бытовки, навесы, защитный экран. <u>СИЗ</u> : утепленная спецодежда, обувь, фуфайки, костюм водостойкий или Л1, каски защитные.	ДСН 3.3.6.042-99 Санитарные нормы микроклимата производственных помещений.
Недостаточная освещенность рабочей зоны	Устройство временной осветительной сети. Работы в вечернее время.	<u>СКЗ</u> : расчет количества светильников. <u>СИЗ</u> : шахтерская лампа на каске, переносной фонарик.	ДБН В 2.5-28-2006 «Естественное и искусственное освещение».

ПРОВЕРОЧНЫЕ РАСЧЕТЫ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ МОНТАЖНОЙ СИСТЕМЫ

Шевр представляет собой А-образную раму, состоящую из двух сборно-разборных трубчатых стоек, снабженных шарнирными опорами и соединенными между собой поверху коротким съемным ригелем и по центру стоек съемной распоркой. К ригелю закрепляются полиспаст для подъема груза и регулируемый подкос, который крепится к треугольной опорной ферме. Опорные узлы верхнего и нижнего поясов фермы жестко закреплены с помощью предварительно установленных анкеров в теле фундамента силоса. Для защиты от потери устойчивости из плоскости фермы все фермы соединены между собой горизонтальными связями (рис. 1).

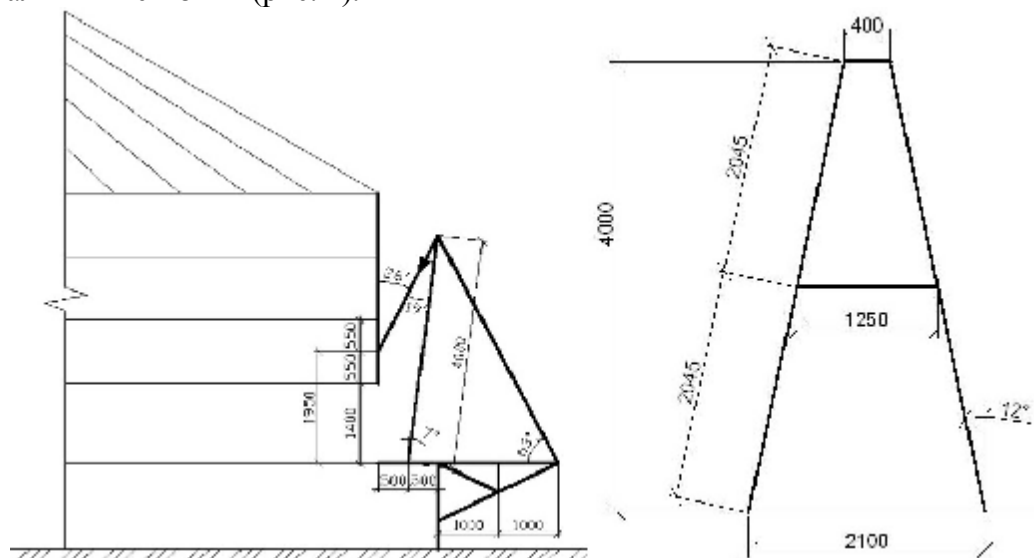


Рис. 1. Монтажная схема шевра и схема рамы шевра

Для определения напряженно-деформированного состояния металлических конструкций выполнен расчет пространственной системы монтажного шевра и опорной фермы. Расчет выполнен с использованием программного комплекса «ЛИРА». Работу металлических элементов конструкций монтажного шевра и опорной фермы моделировали стержневыми элементами.

Расчет выполнен на эксплуатационное и аварийное расчетное значение нагрузок.

Программа ЛИРА, используемая для расчета напряженно-деформированного состояния здания, позволяет автоматически учесть постоянную нагрузку от собственного веса несущих конструкций, представленных в расчетной модели.

РАСЧЕТНЫЙ АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНОЙ СХЕМЫ МОНТАЖНОГО ШЕВРА И ОПОРНОЙ ФЕРМЫ

В результате расчетов определена общая масса конструкции кровли и стен силоса:

$$P_{\text{общ.}} = P_{\text{бок.}} + P_{\text{крыши}} = 32,45 + 17,364 = 49,814 \text{ тс} \quad (1)$$

Нагрузка на один шевр от веса всей поднимаемой конструкции силоса:

$$\frac{P}{n} = \frac{49,814}{29} = 1,71 \text{ тс} = 1717,67 \text{ кгс} \quad (2)$$

Предельное расчетное значение веса конструкций силоса на один шевр определяем умножением характеристического значения на коэффициент надежности по предельной нагрузке γ_{fm} и коэффициент динамичности γ_{din} :

$$F = \frac{P}{n} \cdot \gamma_{fm} \cdot \gamma_{din} = 1717,67 \text{ кгс} \cdot 1,1 \cdot 1,1 = 2078,4 \text{ кгс} = 2,079 \text{ тс} \quad (3)$$

Усилие в грузовой цепи полиспаста от веса конструкций силоса:

$$F_1 = \frac{F}{\cos 26^\circ} = \frac{2,079}{0,8988} = 2,31 \text{ тс} \quad (4)$$

Расчетное значение ветровой нагрузки рабочего состояния определяется по формуле:

$$W_m = \gamma_{fm} \cdot W_0 \cdot C = 1,3 \cdot 14 \cdot 1,8 = 32,76 \frac{\text{кгс}}{\text{м}^2} \quad (5)$$

где γ_{fm} – коэффициент надежности по предельному значению ветровой нагрузки, принимаемый: 1,3 для ветра рабочего состояния [11].

W_0 – нормативный скоростной напор, принимаемый: для ветра рабочего состояния на высоте 10 м над поверхностью земли, равным 1,4 МПа ($14 \frac{\text{кгс}}{\text{м}^2}$);

C – коэффициент, равный 1,8.

Предельное расчетное значение горизонтального усилия от ветровой нагрузки на поверхность силоса, приходящегося на один шевр:

$$F_w = W_m \cdot A = 32,76 \cdot (2,4 \cdot 1,1 \cdot 14 + 0,5 \cdot 2,4 \cdot 6,72) = 1475 \text{ кгс} = 1,475 \text{ тс} \quad (6)$$

Усилие в грузовой цепи полиспаста от ветровой нагрузки на поверхность силоса:

$$F_2 = \frac{F_w}{\sin 26^\circ} = \frac{1,475 \text{ тс}}{0,4384} = 3,37 \text{ тс} \quad (7)$$

Усилие в грузовой цепи полиспаста от веса конструкций силоса, вызываемое резкими нарушениями технологического процесса монтажа (отказ двух соседних шевров при подъеме груза):

$$F_3 = 2,31 \text{ тс} \quad (8)$$

Максимальное суммарное усилие в грузовой цепи полиспаста от веса конструкций силоса и ветровой нагрузки:

$$F = F_1 + F_2 + F_3 = 2,31 + 3,37 + 2,31 = 7,99 \text{ тс} \quad (9)$$

Для определения расчетных сочетаний усилий сформированы следующие загрузки:

- 1 – постоянные нагрузки от собственного веса конструкций монтажного шевра и опорной фермы;
- 2 – временная кратковременная нагрузка от веса конструкций силоса на шевр;
- 3 – временная кратковременная нагрузка на шевр от ветровой нагрузки по оси X на поверхность силоса;
- 4 – эпизодическая аварийная нагрузка, вызываемая резкими нарушениями технологического процесса монтажа (отказ при подъеме двух соседних шевров).

При создании расчетной модели предварительно были заданы характеристики поперечных сечений элементов шевра и опорной фермы. Подобраны конечные элементы расчетной модели шевра: профиль "Молодечно" 140×100×6 для ригеля, профиль "Молодечно" 100×3 для стойки, профиль "Молодечно" 40×2 для распорки рамы, труба 50×3 для раскоса, профиль "Молодечно" 60×4 для верхнего пояса фермы, профиль "Молодечно" 50×4 для нижнего пояса фермы, профиль "Молодечно" 40×2 для раскоса фермы, профиль "Молодечно" 40×2 для стойки фермы, швеллер 12 для опорной стойки фермы, труба 50×3 для связей фермы. Для всех элементов конструкций расчетной модели принят материал – сталь ВСтЗкп2.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СИСТЕМЫ И ТЯЖЕСТИ ТРУДА ПРИ МОНТАЖЕ СИЛОСА

Для анализа напряженно-деформированного состояния элементов конструкций были рассмотрены эпюры и мозаики внутренних усилий от всех загрузок и их сочетаний.

В результате расчета несущей способности металлических конструкций элементов шевра и опорной фермы по 1 и 2 группе предельных состояний в программе ЛИР-СТК установлено:

1. Прочность конструкций всех элементов обеспечивается.
2. Жесткость ригеля и предельная гибкость раскоса шевра не обеспечиваются.

Жесткость ригеля составляет 608% от допускаемой, гибкость раскоса шевра составляет 149% от предельной.

Для обеспечения жесткости ригеля и предельной гибкости раскоса, а также для подбора оптимальных размеров поперечного сечения недогруженных элементов конструкций произведен подбор сечений элементов расчетной модели по 1 и 2 группе предельных состояний в ЛИР-СТК (табл. 3).

Таблица 3

Сечения элементов конструкций по результатам подбора

Тип жесткости	Конструкция	Сечение, мм
1	Ригель	Профиль "Молодечно" 300 x 200 x 10
2	Стойки	Профиль "Молодечно" 80 x 3
3	Распорка рамы	Профиль "Молодечно" 40 x 2
4	Раскос	Труба 73 x 3
5	Верхний пояс фермы	Профиль "Молодечно" 60 x 2
6	Нижний пояс фермы	Профиль "Молодечно" 40 x 2,5
7	Раскос фермы	Профиль "Молодечно" 40 x 2
8	Стойка фермы	Профиль "Молодечно" 40 x 2
9	Опорная стойка фермы	Швеллер 8
10	Связи фермы	Труба 25 x 2,5

Определим динамическую работу, выполняемую рабочим при подъеме каждого яруса силоса по формуле из [1]:

$$W = \left(P \cdot H + \frac{P \cdot L}{9} + \frac{P \cdot H_1}{2} \right) \cdot K, \text{ кг} \cdot \text{м}, \quad (10)$$

где W - работа, $\text{кг} \cdot \text{м}$;

P - масса груза, кг ;

H - высота, на которую помещают груз из исходного положения, м ;

L - расстояние, на которое перемещают груз по горизонтали, м ;

H_1 - расстояние, на которое опускают груз, м ;

K - коэффициент, равный 6.

Средняя для данного цикла мощность из [1]:

$$N = \frac{W \cdot K_1}{t}, \text{ Вт}, \quad (11)$$

где N - мощность, Вт ;

t - длительность цикла, сек ;

K_1 - коэффициент перевода работы (W) из $\text{кг} \cdot \text{м}$ в Джоуль, равный 9,8.

Результаты расчетов приведены в табличной форме (табл. 4).

Таблица 4

**Результаты расчетов энергетических затрат рабочих при поярусном монтаже
металлического силоса диаметром 22,15 м методом подращивания**

Ярусы	Масса, кг	Длительность цикла, час.			Динамическая работа, кг·м	Средняя мощность цикла, Вт		
		подготовка	подъем	итого		подготовка	подъем	итого
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 ярус+ крыша	19684,255	55,50	0,06	55,56	200779,40	9,85	9109,44	9119,28
2 ярус	22001,8	2,00	0,06	2,06	224418,36	305,46	10181,94	10487,40
3 ярус	24319,345	2,50	0,07	2,57	248057,32	270,11	9646,67	9916,78
4 ярус	26636,89	2,40	0,07	2,47	271696,28	308,17	10565,97	10874,14
5 ярус	28954,435	2,50	0,07	2,57	295335,24	321,59	11485,26	11806,85
6 ярус	31271,98	2,40	0,08	2,48	318974,20	361,80	10853,98	11215,78
7 ярус	33589,525	2,50	0,08	2,58	342613,16	373,07	11658,36	12031,43
8 ярус	35907,07	2,40	0,09	2,49	366252,11	415,42	11078,00	11493,42
9 ярус	38224,615	2,40	0,09	2,49	389891,07	442,24	11793,00	12235,24
10 ярус	40542,16	2,40	0,09	2,49	413530,03	469,05	12508,01	12977,06
11 ярус	42859,705	2,40	0,10	2,50	437168,99	495,86	11900,71	12396,57
12 ярус	45177,25	2,40	0,11	2,51	460807,95	522,68	11403,83	11926,51
13 ярус	47494,795	2,40	0,12	2,52	484446,91	549,49	10989,77	11539,26
14 ярус	49812,34	2,55	0,13	2,68	508085,87	542,40	10639,40	11181,81
15 ярус	53545,375	2,55	0,14	2,69	546162,83	583,05	10619,83	11202,88

Выводы

1. Произведен анализ опасных и вредных производственных факторов при монтаже металлических силосов методом подращивания

2. В результате расчета монтажного шевра и опорной фермы и анализа полученных результатов выполнен подбор оптимальных размеров сечений элементов конструкций шевра и опорной фермы. Несущая способность металлических конструкций обеспечивается и не превышает допустимых значений. Условия жесткости и предельной гибкости выполняются.

3. Подтверждены расчетами предсказанные гипотезой и экспериментально полученные ранее [8, 9] закономерности резкого возрастания энергетических затрат рабочих при поярусном монтаже металлического силоса методом подращивания, что позволяет характеризовать их на конечных этапах подъема как достаточно тяжелые и опасные. А следовательно, необходимо рассматривать и альтернативные варианты конструкции системы подъемных механизмов, исключаяющих ручной труд рабочих (с электро- или гидроприводом).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств (Охрана труда): Учеб. пособие для вузов /П.П. Кукин, В.Л. Лапин, Н.Л. Пономарев и др. – 4-е изд., перераб. М.: Высш. шк., 2007. – 335 с.: ил.
2. Будко Д.А, Луценков В.Л., Рогач Ю.П., Петров В.В. Безпека технологічних процесів при виробництві та післязбиральній обробці продукції рослинництва. Навч. посібник.- Сімферополь: Бізнес-Інформ, 2002.- 344 с.
3. Сафонов В.В, Русін В.І., Коржик Б.М., и др. Інженерні рішення з охорони праці при розробці дипломних проектів інженерно-будівельних спеціальностей: Навч.-метод. посібник.- Київ: Основа, 2000.- 336 с.
4. Говдяк Р.М., Коснирєв Ю.М. Кількісний аналіз аварійного ризику газотранспортних об'єктів підвищеної безпеки /Практичні рекомендації. – Львів, 2007.- 157 с.
5. Гогіташвілі Г.Г., Карчевські Є.Т., Лапін В.М. Управління охороною праці та ризиком за міжнародними стандартами: Навч. посіб. - К.: Знання, 2007. – 367 с.
6. Тихоненко В.В. Идентификация опасностей и оценка профессиональных рисков на АЭС. //Проблемы безопасности атомных станций и Чернобыля. Сб. науч. трудов. - Киев.: ИПБАЭС НАН Украины, 2010. – Вып.13. – С.60-67.
7. Шаленний В.Т., Кислиця Л.В., Дікарев К.Б. Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури». Патент UA 56442 МПК (2011.01) E04F 13/08: Пристрій для монтажу конструкцій методом підрозування.
8. Шаленний В.Т. Исследование зависимости энергетических затрат рабочих при выполнении монтажных работ в строительстве /В.Т. Шаленный, П.И. Несевря, К.Б. Дикарев, Л.В. Кислица, О.А. Бицоева, Т.А. Кобец // Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов. – Симферополь: НАПКС, 2011. – Вып. 36. – С.59 - 66.
9. Шаленний В.Т. Оценка энергозатрат монтажников при возведении металлических силосов методом подрачивания. /Шаленний В.Т., Ковалев А.А., Несевря П.И., Кислиця Л.В., Бицоева А.О. //Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб.науч.трудов.– Дн-вск., ПГАСА, 2011. - Вып.61. – С.493-497.
10. Харитонов А.И. Моделирование систем обеспечения безопасных условий труда //Информ. вісник Одещини з охорони праці.- Одеса. - Вып.№1(5)2000. – С.30 - 39.
11. Устройства и приспособления монтажные, методы расчета и проектирования. ОСТ 36-128-85., М-1985, – 48 с.
12. Методика расчета монтажной и ремонтной оснастки: учеб. пособие / А.Д. Яцков, Н.Ю. Холодилин, О.А. Холодилина. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 116 с.
13. ДБН В.1.2-2:2006 Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования // Минстрой Украины, Киев 2006. – 57 с.
14. ЛИРА 9.4. Примеры расчета и проектирования. Приложение к учебному пособию ЛИРА 9.2. Гензерский Ю.В. и др. – К.: издательство НИИАСС, 2006.-126 с.
15. Компьютерные модели конструкций. А.С. Городецкий, И.Д. Евзеров. - К.: Из - ство «Факт», 2005. – 344 с.
16. Guidance on risk assessment at work, 1996. – 64 p.

РАЗДЕЛ 7. ВОДООБЕСПЕЧЕНИЕ И ВОДООТВЕДЕНИЕ, ГИДРОМЕЛИОРАЦИЯ, ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ И ЭНЕРГЕТИКА

УДК 697.7:551.590.21(477.75-25)

РАЗРАБОТКА И ПОСТРОЕНИЕ МЕРИДИАЛЬНОЙ АНАЛЕММЫ ДЛЯ Г.СИМФЕРОПОЛЬ

Алиева З.Б., Бекиров Э.А.

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

В работе рассматривается способ расчета и построения меридиальной аналеммы для города Симферополь. Построение меридиальной аналеммы необходимо при проектировании следящих систем, для концентраторов солнечного излучения, где требуется обеспечить высокую точность направления на Солнце. Расчет и построение меридиальной аналеммы необходим для выбора оптимального угла наклона солнечных батарей и солнечных коллекторов. В работе также описаны основные уравнения для построения аналеммы, описаны уравнения времени и склонения.

Аналемма, склонение, уравнение времени, солнечная энергия

ВВЕДЕНИЕ

Аналемма — кривая, соединяющая ряд последовательных положений центральной звезды планетарной системы (в нашем случае — Солнца) на небосводе одной из планет этой системы в одно и то же время в течение года.

Форма аналеммы определяется наклоном земной оси к плоскости эклиптики и эллиптичностью земной орбиты. Наивысшее положение солнца на аналемме соответствует летнему солнцестоянию, наинизшее — зимнему. Положение в середине «восьмёрки» солнце занимает два раза в год, в середине апреля и в конце августа. Эти даты не совпадают с весенним и осенним равноденствием, а сдвинуты к лету (в южном полушарии к зиме), из-за эллиптичности земной орбиты.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

Построение аналеммы для определения профиля освещенности. Профиль освещенности определяет радиацию, поступающую на солнечную батарею, которая является функцией времени в течение одного витка на космической орбите, а также зависит от угла между направлением на Солнце и плоскостью расположения солнечной батареи.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В работе применяется методология расчёта инсоляции с использованием методов косоугольного и центрального проецирования [4-6], компьютерный метод архитектурно-строительного проектирования, реализующих метод ортогонального проецирования. Использование методов косоугольного и центрального проецирования позволяет компактно и наглядно характеризовать колебательные импульсы инсоляции. Построение аналеммы является необходимой задачей для проектирования солнечных установок: фотобатарей и гелиоколлекторов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Метод исследования заключается в использовании значения солнечной радиации, которая является функцией времени, и зависит от угла между направлением на Солнце и плоскостью расположения солнечной батареи; использовании тригонометрических уравнений на основании которых, можно определить азимут истинного Солнца и азимут тени, а также точки координат для построения меридиальной аналеммы.

Склонение почти повторяется через 4 года, и для этого 4-летнего периода осредненное склонение с достаточной точностью можно рассчитать по следующей приближенной формуле [1]:

$$\sin \delta = 0,3979 \cdot \sin(279,4 + 0,9856 \cdot N + 1,92 \cdot \sin(0,9856 \cdot N - 2)) \quad (1)$$

где N – порядковый номер дня, начиная с 1 января.

Если склонение получается положительным, то оно северное, а если отрицательное, то южное.

Приближенное значение уравнения времени также зависит от номера N дня в году и вычисляется по следующей формуле [1]:

$$\eta = 7,7 \cdot (0,986 \cdot (N - 4)) - 9,9 \cdot \sin(1,971 \cdot (N - 80)) \quad (2)$$

Как видно из коэффициентов, размерность уравнения времени выражена во временной мере. Если полученные минуты разделим на 4, то переведем в градусную меру.

Таблица 1

Уравнение времени и склонение рассчитанное по формулам (1) и (2)

Дата	$\delta(^{\circ})$	$\eta(\text{мин})$	$\eta(^{\circ})$	Дата	$\delta(^{\circ})$	$\eta(\text{мин})$	$\eta(^{\circ})$
01.01	-23,0	3,4	0,8	01.07	23,1	3,8	0,9
11.01	-21,8	7,8	1,9	11.07	22,1	5,4	1,4
21.01	-19,8	11,2	2,8	23.07	20,0	6,5	1,6
01.02	-17,0	13,5	3,4	01.08	17,9	6,3	1,6
11.02	-13,9	14,2	3,6	11.08	15,2	5,2	1,3
20.02	-10,8	13,8	3,4	23.08	11,3	2,7	0,7
01.03	-7,5	12,4	3,1	01.09	8,2	0	0
11.03	-3,6	10,1	2,5	11.09	4,4	-3,2	-0,8
21.03	0	7,3	1,8	23.06	0	-7,5	-1,9
01.04	4,7	4,0	1,0	01.10	-3,3	-10,2	-2,6
11.04	8,4	1,1	0,3	11.10	-7,1	-13,2	-3,3
21.04	12,0	-1,2	-0,3	23.10	-11,5	-15,6	-3,9
01.05	15,2	-2,4	-0,6	01.11	-14,5	-16,4	-4,1
11.05	18,0	-3,7	-0,9	11.11	-17,5	-16,0	-4,0
22.05	20,5	-3,4	-0,8	22.11	-20,2	-13,9	-3,5
01.06	22,1	-2,3	-0,6	01.12	-21,8	-11,1	-2,8
11.06	23,1	-0,5	-0,1	11.12	-23,0	-6,9	-1,7
22.06	23,4	1,9	0,5	22.12	-23,4	-1,6	-0,4

Первое слагаемое учитывает неравномерность движения Земли по орбите (4 – порядковый номер дня прохождения перигелия, соответствующего примерно 4 января), второе – проекция на экватор движения Солнца по эклиптике (множитель 0,986 удвоен, поскольку период составляет полгода, а 80 – номер дня весеннего равноденствия).

Уравнение времени устанавливает взаимосвязь между истинным и средним временем. При помощи уравнения времени можно решать следующие задачи [2]:

1. Получение часового угла Солнца по известному времени:

$$t = T \pm 12(180) - \eta \quad (3)$$

2. Получение времени кульминации Солнца. Для верхней кульминации $t=0$, поэтому из последней формулы имеем:

$$T_{\text{в.к.}} = 12^{\text{ч}} + \eta \quad (4)$$

Горизонтальную аналемму будем рассчитывать на полдень, когда Солнце будет приходить на меридиан наблюдателя. Высоту и азимут Солнца вычисляем по следующей формуле [2]:

$$\sinh = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \delta \cdot \cos t \quad (5)$$

$$\sin A = \frac{\cos \delta \cdot \sin t}{\cosh} \quad (6)$$

Будем рассчитывать азимут истинного Солнца на момент кульминации среднего Солнца. В этом случае часовой угол истинного Солнца численно будет равен уравнению времени. Кульминация Солнца в нашей стране происходит всегда над точной юга (S),

поэтому азимут будет отсчитываться от точки S в сторону востока (E) или запада (W). Последняя формула удобна своей простотой. Из таблицы 1 видно, что максимальное значение уравнения времени не превосходит $4,1^\circ$, а так как синус малого угла равен самому углу в радианной форме, то после преобразования получим упрощенную формулу[2]:

$$A^\circ \approx \cos \delta \cdot \sec h \cdot \eta^\circ \quad (7)$$

Азимут тени будет отличаться от азимута Солнца на 180° , т.е. мы его будем вычислять по последней формуле, но он будет откладываться от точки севера (N).

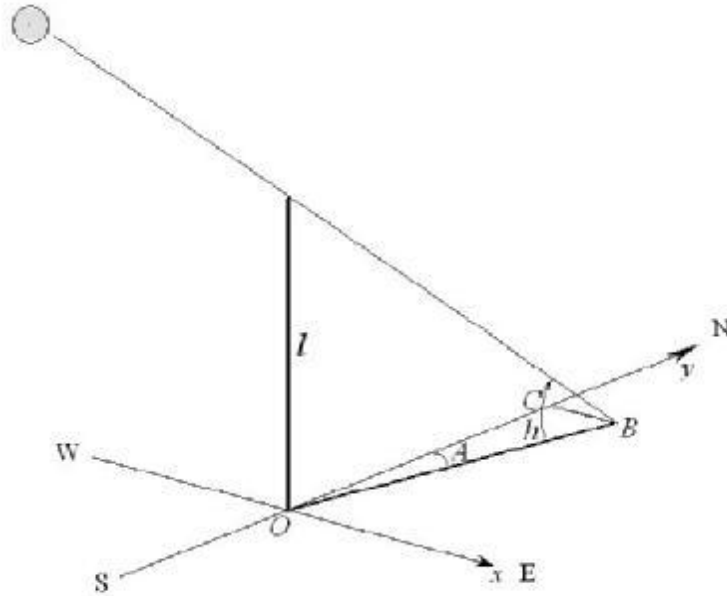


Рис. 1. Схематическое построение азимута Солнца

Из рисунка 1 видно, что длина тени будет определяться выражением[3]:

$$OB = \frac{l}{\operatorname{tgh}}$$

Для нанесения аналеммы, необходимо рассчитать координаты. Ось OX направлена в сторону востока (E), а ось OY совпадает с полуденной линией и направленная в сторону севера (N). Тогда из прямоугольного треугольника OBC имеем:

$$x = \frac{l}{\operatorname{tgh}} \cdot \sin A$$

Так как азимут будет мал, то $\sin A \approx A$ (рад). Разделив градусы азимута на 57,3 переведем его в радианную меру. Тогда, подставляя (7) в последнюю формулу, имеем:

$$x = \frac{l \cdot \cos \delta \cdot \eta}{57,3 \cdot \operatorname{tgh} \cdot \cosh} = \frac{l \cdot \cos \delta \cdot \eta}{57,3 \cdot \sinh} \quad (8)$$

$$y = \frac{l \cdot \cos A}{\operatorname{tgh}} \quad (9)$$

Сделаем ещё одно упрощение. В момент кульминации в течение нескольких минут высота светила изменяется незначительно, поэтому близмеридиольную высоту h можно считать равной меридиональной H [2].

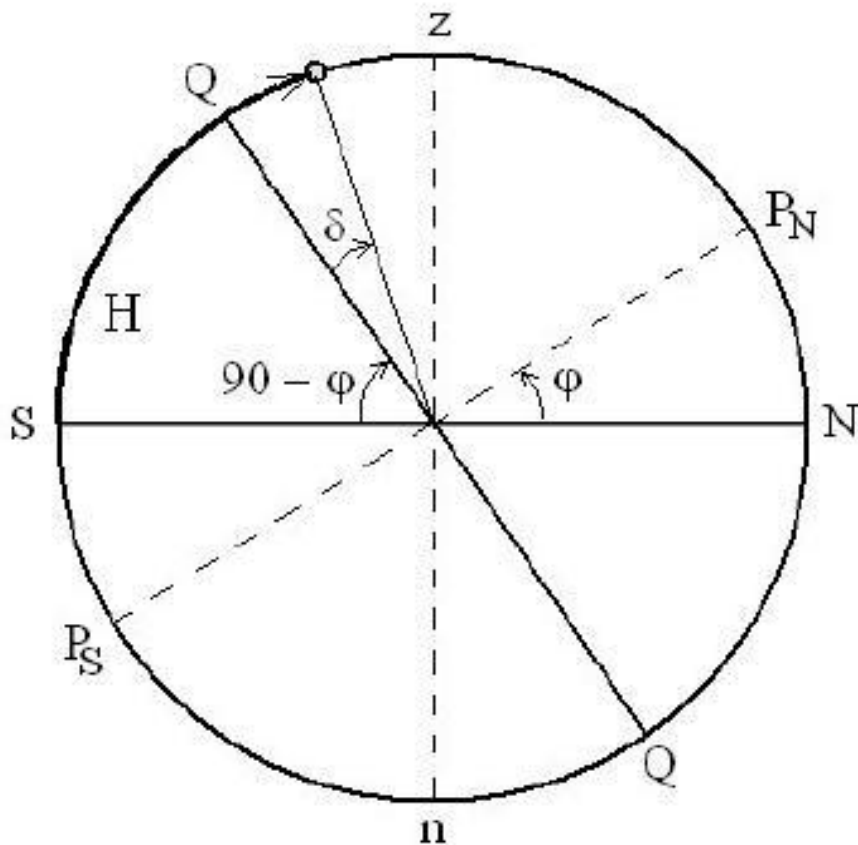


Рис. 2. Графическое изображение небесной сферы спроецированной на меридиан

Из рис.2. имеем:

$$H = 90 - \varphi + \delta$$

Тогда формулы (7), (8) и (9) после преобразований окончательной примут следующий вид:

$$A = \frac{\cos \delta \cdot \eta}{\sin(\varphi - \delta)} \quad (10)$$

$$x = \frac{l \cdot \cos \delta \cdot \eta}{57,3 \cdot \cos(\varphi - \delta)} \quad (11)$$

$$y = l \cdot \operatorname{tg}(\varphi - \delta) \cdot \cos A \quad (12)$$

Выполним расчеты, для города Симферополь, его географические координаты:

Широта – $\varphi = 44^{\circ}57'N$;

Долгота- $\lambda = 34^{\circ}06'E$

Исходя из формул (10)- (12), склонения и уравнения времени из таблицы 1 рассчитываем координаты анлеммы, которые заносятся в таблицу 2.

Если уравнение времени положительно, то истинное Солнце в своем суточном движении отстает от среднего Солнца, и знак координаты X будет отрицательный. А при отрицательном значении уравнения времени X будет положительный.

Относительно полуденной линии по рассчитанным координатам наносим точки аналеммы, маркируем и соединяем их кривой.

Осенне-зимний участок горизонтальной аналлемы наиболее протяженный, и при большей широте этот участок, как и вся аналемма будут ещё длиннее. Но в этот период число солнечных дней меньше, чем в весенне- летний.

Таблица 2

Расчетные координаты для построения горизонтальной аналеммы

Склонение, гр	Ур-е времени, мин	Ур-е времени, гр	А, гр	у, см	х, см
-23	3,4	0,85	0,8	484,5	-8,6
-21,8	7,8	1,95	1,9	456,9	-16,0
-19,8	11,2	2,8	2,9	416,3	-22,9
-17	13,5	3,375	3,7	368,7	-27,7
-13,9	14,2	3,55	4,1	325,2	-26,1
-10,8	13,8	3,45	4,1	288,9	-24,4
-7,5	12,4	3,1	3,9	256,0	-19,3
-3,6	10,1	2,525	3,3	223,1	-15,5
0	7,3	1,825	2,6	196,8	-9,8
4,7	4	1	1,6	167,0	-6,8
8,4	1,1	0,275	0,5	146,2	-1,1
12	-1,2	-0,3	0,5	127,8	1,0
15,2	-2,4	-0,6	1,2	112,5	2,4
18	-3,7	-0,925	1,9	100,0	3,4
20,5	-3,4	-0,85	1,8	89,3	3,4
22,1	-2,3	-0,575	1,4	82,7	2,0
23,1	-0,5	-0,125	0,2	78,7	0,0
23,1	1,9	0,475	1,3	78,6	-2,0
23,1	3,8	0,95	2,2	78,6	-3,1
22,1	5,4	1,35	3,4	82,6	-3,3
20	6,5	1,625	3,6	91,3	-5,3
17,9	6,3	1,575	3,4	100,3	-6,0
15,2	5,2	1,3	2,5	112,4	-6,0
11,3	2,7	0,675	1,2	131,2	-5,2
8,2	0	0	0,0	147,3	0,0
4,4	-3,2	-0,8	1,2	168,8	4,1
0	-7,5	-1,875	2,7	196,8	9,1
-3,3	-10,2	-2,55	3,5	220,7	14,4
-7,1	-13,2	-3,3	4,2	252,3	18,1
-11,5	-15,6	-3,9	4,6	296,3	24,4
-14,5	-16,4	-4,1	4,6	332,7	27,6
-17,5	-16	-4	4,3	376,2	29,3
-20,2	-13,9	-3,475	3,6	423,6	27,7
-21,8	-11,1	-2,775	2,8	456,6	23,6
-23	-6,9	-1,725	1,7	484,3	14,1
-23,4	-1,6	-0,4	0,4	494,3	3,2

Уравнение времени

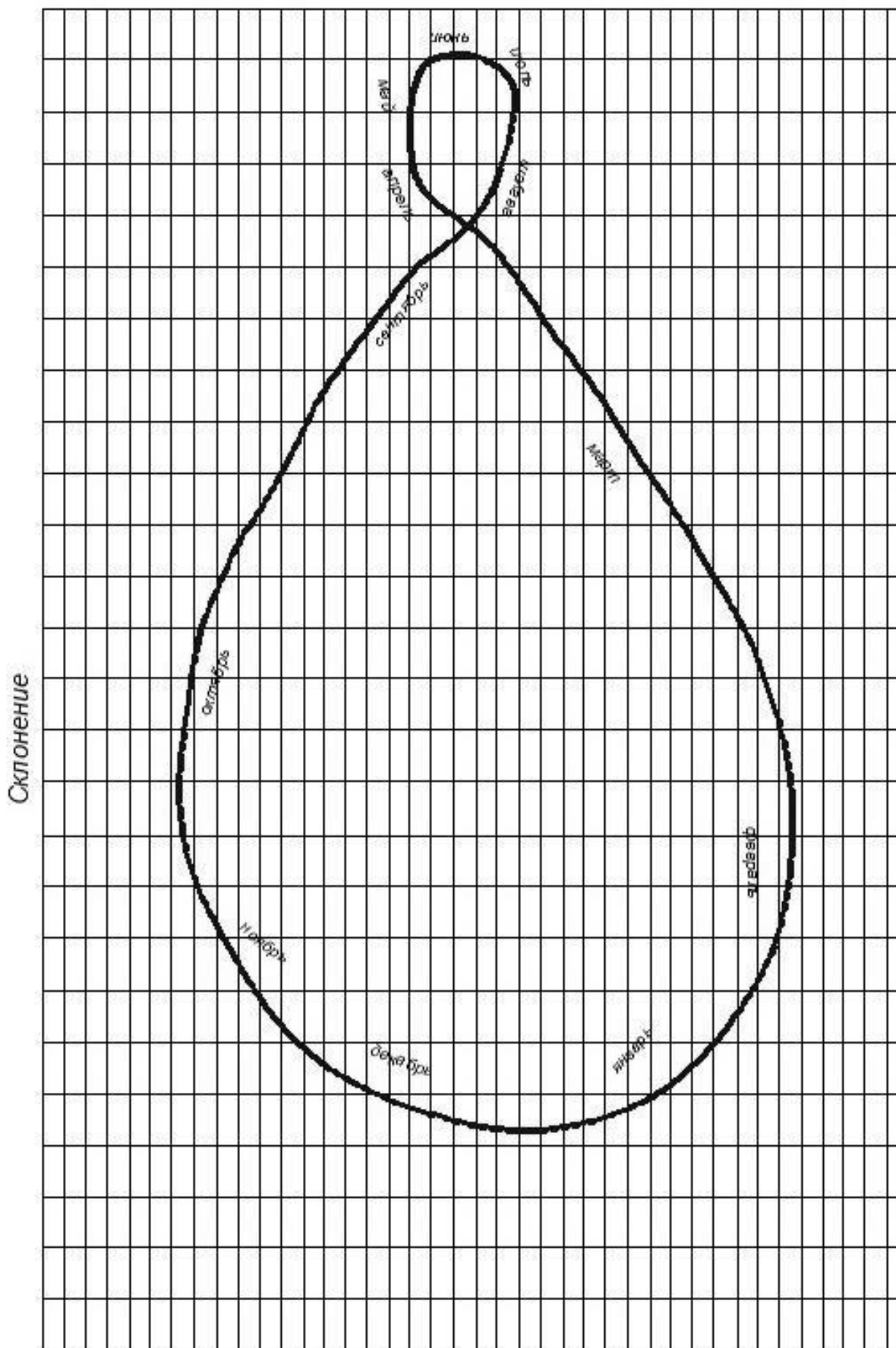


Рис. 3. Солнечная Аналема

Выводы

1. Построение меридиальной аналеммы необходимо при проектировании следящих систем, для концентраторов солнечного излучения, где требуется обеспечить высокую точность направления на Солнце.

2. Расчет и построение меридиальной аналеммы необходим для выбора оптимального угла наклона солнечных батарей и солнечных коллекторов.

3. Построение меридиальной аналеммы необходимо для определения профиля освещенности. Профиль освещенности определяет радиацию, поступающую на солнечную батарею, которая является функцией времени в течение одного витка на космической орбите, а также зависит от угла между направлением на Солнце и плоскостью расположения солнечной батареи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей: Пер.с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 360с.,ил.
2. Крошкин М.Г. Физико-технические основы космических исследований. – М.: Машиностроение, 1969.
3. Кононович Э.В., Морозов В.И. «Общий курс астрономии» Учебное пособие под ред. В.В. Иванова. Изд. 2-е, испр.М.: Едиториал УРСС, 2004 – 555с.
4. Бахарев Д.В. Методы расчета и нормирования солнечной радиации в градостроительстве. Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. М. НИИСФ. 1968 – 218 с.
5. Орлова Л.Н. Метод энергетической оценки и регулирования инсоляции на жилых территориях. Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. М., МИСИ. 1985 – 188 с.
6. Оболенский Н.В. Архитектура и Солнце. М.: Стройиздат. 1988 – 208 с.

УДК 662.612-428.4

АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНВЕКТИВНОГО ПОТОКА ПРИ ЕГО ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ПОТОКОМ ЗАКРУЧЕННОГО ГАЗА

Атрощенко С.Ю.

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

Теоретически исследовано взаимодействие тепловой гетерогенной струи с потоком закрученного газа и отсосом. Получена модель движения тепловой гетерогенной струи, взаимодействующей с внешним закрученным потоком и спектром всасывания в верхней области. На основании полученных результатов разработан способ локализации и удаления вредностей, в котором предложено локализовать их посредством крутки потока защитного газа, а удаление сварочного аэрозоля производить из образованного конуса вращения.

Конвективная струя, закрученный поток, сварочный аэрозоль, защитный газ.

ВВЕДЕНИЕ

Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов становится задачей первостепенной важности в связи с ухудшением экологической ситуации на Украине, вызванной экстенсивным использованием природных богатств. При этом особенно негативные последствия имеют место при загрязнении воздуха сварочными аэрозолями, обладающими практически нулевой скоростью осаждения и влияющие на оптические, метеорологические и другие характеристики атмосферы.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Величина выбросов от сварочных цехов определяется неорганизованными источниками загрязнения, то есть нелокализованной системами вентиляции части вредных веществ, и организованными, величина которых зависит от степени очистки воздуха [4-5]. Недостаточная эффективность средств локализации и удаления образующихся при сварке вредностей, в особенности на нестационарных рабочих местах, вызвана противоречием между необходимостью увеличения объемов удаляемого воздуха для достижения санитарно-гигиенических норм и технологическими требованиями к подвижности воздуха в рабочей зоне [2-3].

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью работы является разработка новых способов и средства локализации, удаления воздуха от нестационарных мест сварки в защитном газе для решения проблемы снижения выбросов вредных веществ в окружающую среду и улучшение условий труда.

Для достижения цели решалась задача теоретического исследования взаимодействия тепловой гетерогенной струи, возникающей в месте сварки, с потоком закрученного газа и отсосом, и на основании полученных результатов разрабатывался способ локализации и удаления вредностей.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Математическое описание взаимодействия тепловой гетерогенной струи, возникающей при сварке, с отсосом и кольцевым закрученным потоком защитного газа производилось отдельно, согласно ранее выбранного алгоритма.

Так описание тепловой струи со свободной границей возможно на основании законов сохранения массы, импульса и энергии, каноническая форма записи которых в переменных Эйлера имеет вид [1]:

Закон сохранения массы

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{W} \nabla \rho + \rho \nabla \vec{W} = 0 \quad (1)$$

Закон сохранения импульса

$$\rho \left(\frac{\partial \vec{W}}{\partial t} + \vec{W} (\nabla \vec{W}) \right) + \nabla P = 0 \quad (2)$$

Закон сохранения энергии

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \nabla (\vec{W} (P + E)) = 0 \quad , \quad (3)$$

где E - удельная суммарная энергия среды;

\vec{W} - вектор завихренности среды, определяемый как:

$$\vec{W} = \nabla \vec{V} \quad , \quad (4)$$

где \vec{V} - вектор скорости точки среды;

t - текущий момент времени;

ρ - плотность среды;

P - тензор полного давления;

Уравнения записаны в векторной форме с использованием известного оператора поля - ∇ - гамильтониана.

При составлении указанного описания процесса использован ряд допущений, достаточно обоснованных в [1-3] при решении задач механики сложных многофазных сред:

- размеры дисперсных частиц и расстояние между ними можно считать малыми по сравнению с характерными линейными размерами течений;

- столкновение, дробление и коагуляция частиц в дисперсной фазе отсутствует;
- теплопроводность и вязкость чистых фаз не учитывается, их учет производится только лишь в процессе межфазного взаимодействия.

Учитывая вышеизложенное, принято, что средняя скорость втекания, или подсосывания на границе тепловой струи пропорциональна средней местной вертикальной скорости в случае развитого течения, достигшего равновесного состояния [2]. Тогда, согласно [1] уравнения сохранения массы, движения и выталкивающей силы представляются в следующем виде:

$$\frac{d(R^2 \cdot V)}{dx} = 2 \cdot \hat{\alpha} R$$

$$\frac{d(R^2 \cdot V^2)}{dx} = R^2 \cdot g \cdot \frac{\Delta\rho}{\rho_a} \quad (5)$$

$$R^2 \cdot g \cdot \frac{\Delta\rho}{\rho_a} \cdot V = A + \frac{f_i}{x_i}$$

Решение этих уравнений было получено Д.Тернером [1]:

$$R = \frac{6}{5} \hat{\alpha} \cdot x$$

$$V = \frac{5}{6} \hat{\alpha} \cdot (0.9 \cdot \hat{\alpha} \cdot A)^{1/3} x^{-1/3} \quad (6)$$

где: R - радиус тепловой струи на высоте x , м;
 $\Delta\rho$ - разность плотностей между окружающей тепловую струю средой и самой струей, кг/м³;

$\hat{\alpha}$ - коэффициент подсосывания воздуха в тепловую струю;

V - вертикальная скорость тепловой струи, м/с, определяемая в первом приближении по выражению [3]:

$$V = \pi \cdot R^2 / L_{y0} \quad (7)$$

f_i - силовое взаимодействие между фазами, возникающее при обтекании частиц потоком газа в их относительном движении:

$$f_i = f_m + f_a + f_t \quad (8)$$

где f_m - сила вязкостного трения;

f_a - архимедова сила;

f_t - сила присоединенной массы.

Эти составляющие были рассчитаны по следующим зависимостям [1-3]:

$$f_m = C_\mu \cdot \pi \cdot a^2 \frac{\rho_2 \cdot \omega_{12}^2}{2} \cdot \frac{W_{12}}{\omega_{12}}$$

$$f_m = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot a^3 \cdot \rho_2 \left(\frac{dV_1}{dt} + \frac{3}{a} \frac{d_2 a}{dt} \cdot W_{12} - \frac{d_2 V_2}{dt} \right) \quad (9)$$

$$f_m = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot a^3 \cdot \rho_2 \left(\frac{d_1 V_1}{dt} - g \right)$$

где C_μ - коэффициент сопротивления частицы, вычисляемый по эмпирической зависимости [3]:

$$C_{\mu} = \left(\frac{24}{\text{Re}_{12}} + \frac{4}{\sqrt{\text{Re}_{12}}} + 0.4 \right) \psi_{\alpha} \quad , \quad (10)$$

$$\text{Re}_{12} = 2a \cdot \rho_2 \cdot \omega_{12} / \mu_1$$

ψ_{α} - коэффициент, учитывающий неоднородность частиц, определяемый по формуле [3]:

$$\psi_{\alpha} = (1 - \alpha_2)^{-m}; m \approx 5, \quad (11)$$

a - радиус частицы, м;

α_i - объемная концентрация i -й фазы, мг/м³;

ω_{12} - радиальная скорость частицы на межфазной границе, м/с;

W_{12} - скорость относительного макроскопического движения фаз, м/с.

Для определения $\hat{\alpha}$, пропорционального полууголу раскрытия струи, требовалось найти полюсное расстояние тепловой струи Z_n , которое определялось по формуле [6]:

$$Z_n = 1.33 \left(\frac{fH}{F} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{L}{L_o} \right)^{\frac{1}{8}}, \quad (12)$$

где f - площадь источника тепла, м;

F - площадь горизонтальной поверхности, с которой происходит подсосывание воздуха в тепловую струю, м²;

H - длина вылета электродной проволоки, м;

L - расход удаляемого воздуха, м³/ч;

$L_o = 20$ м³/ч - по данным [6].

Зная линейный размер источника тепла и полюсное расстояние Z_n , можно определить угол раскрытия струи при принятом расходе удаляемого воздуха.

Учитывая, что удаление вредностей происходит из образованного защитным газом конуса вращения, и в нем, по данным [1], существует линия нулевых скоростей, ограничивающая внутренний конус, в котором вертикальная скорость направлена вверх, то есть совпадает с направлением тепловой струи, можно предположить, что для максимального использования энергии защитного газа и полного удаления сварочного аэрозоля, угол раскрытия тепловой струи должен быть равен углу наклона линии нулевых скоростей. Коэффициент подсосывания при этом определяется выражением [3]:

$$\hat{\alpha} = (0,32 + 0,8S) \cdot (x + Z_n) / R_{cmp}, \quad (13)$$

где S - параметр крутки потока, определяемый по формуле [3]:

$$S = \frac{2 \cdot \left(1 - \left(\frac{d_b}{d}\right)^3\right)}{3 \cdot \left(1 - \left(\frac{d_b}{d}\right)^2\right)} \text{tg} \varphi, \quad (14)$$

где φ - угол наклона лопаток завихрителя.

При расчете полей скоростей тепловой струи возникает необходимость получения данных о составе и термодинамических свойствах химически реагирующей гетерогенной смеси.

Учитывая, что в данном случае модель качественная, а результаты состава продуктов горения применяются только при расчете плотностей, были использованы данные работы [2, 6].

Термодинамические характеристики результирующего потока представлены в табл.1.

Таблица 1

Термодинамические характеристики конвективного гетерогенного потока

Характеристика среды	Коэф. разбавления	T, ° K	M, кг/ч	ρ , кг/м ³	h, кДж/кг	C, кДж/кг·K
На выходе из дуги	-----	2000	43,85	0,358	2970	1,038
В отсосе, после разбавления в количестве	0,3	1500	38,2	0,394	2013	1,46
	1,0	1000	34,65	0,454	1410	1,297
	10,0	500	29,66	0,71	773	1,182
На входе в сопло отсоса	---	301	27,19	0,91	620	1,01

Для получения результирующей вертикальной скорости, складывающейся из скорости в тепловой струе, скорости всасывания и вертикальной составляющей скорости защитного газа, необходимо получить поле скоростей закрученного потока защитного газа.

Этот расчет возможно выполнить, приняв поток защитного газа как идеальный газ, используя основное уравнение винтового движения жидкости в конусе со сферическим основанием, решение которого было получено С.А. Бостонджияном [8].

Третья составляющая результирующей скорости - скорость всасывания определялась из выражения [3]:

$$V_x = V_o \left(1 - \frac{x}{d} \sqrt{1 + \left(\frac{x}{R}\right)^2}\right), \quad (15)$$

где V_o - скорость потока во входном сечении, м/с;

d - диаметр входного отверстия, м;

x - расстояние от рассматриваемого до входного сечений, м.

Для выполнения расчетов исследуемая область была ограничена линией нулевых скоростей образованного защитным газом конуса вращения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

При расчете последовательно варьировались:

- расход удаляемого воздуха, который изменялся от 10 м³/ч до 100 м³/ч;
- отношение диаметров сопла подачи защитного газа и отсоса ($d_e/d_o = 1,05-1,3$);
- степень крутки потока ($S=0,195-0,926$).

Так график изменения осевой результирующей скорости (рис.1) показал ее снижение при увеличении объема удаляемого воздуха, что объясняется перетоком защитного газа непосредственно в сопло отсоса и, соответственно, уменьшением границы его распространения.

Анализ изменения полей скоростей результирующего потока от R/d показал, что профили скоростей одинаковы при различных соотношениях $Lo/Lz.z.$, но с увеличением последнего происходит уменьшение относительной скорости Vx/Vo , а при $Lo/Lz.z.$ более 83,3 результирующая скорость на границе тепловой струи принимает отрицательное значение, что свидетельствует о том, что тепловая струя не "вписывается" в конус вращения, образованный потоком защитного газа и начинается захват им выделяющихся вредностей. Наиболее оптимальным является значение $Lo/Lz.z.=66,7$, при котором внешняя граница тепловой струи приближается к границе нулевых вертикальных скоростей закрученного потока защитного газа.

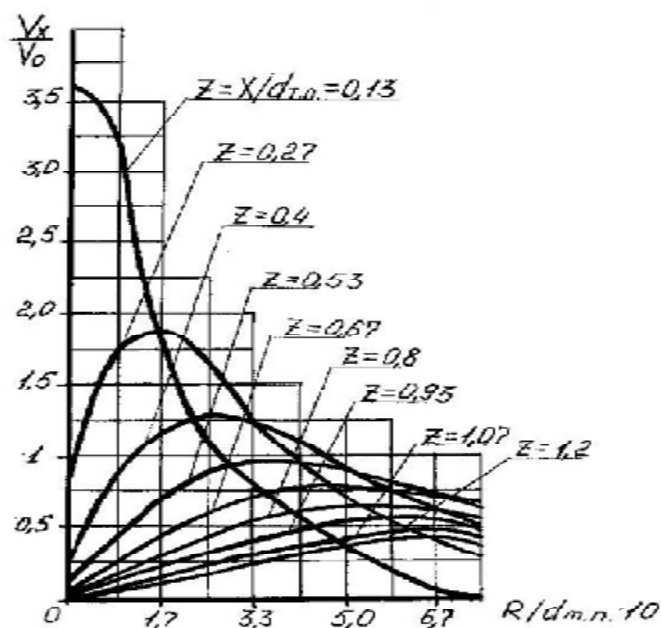


Рис.1. Зависимость скорости в поперечном сечении при $L_0/L_{зг}=66,7$

ВЫВОДЫ

1. На основании анализа существующих способов удаления вредных веществ при сварке предложено локализовать их посредством крутки потока защитного газа, а удаление производить из образованного таким образом конуса вращения.

2. Результаты качественного моделирования показали, что при соотношении объемов удаляемого воздуха и защитного газа 66,7 внешняя граница тепловой струи приближена к границе нулевых скоростей закрученного потока защитного газа, а при $L_0/L_{зг}$.

более 83,3 тепловая струя начинает захватываться потоком защитного газа.

3. На основании полученных результатов теоретических исследований разработан способ удаления вредностей при сварке в среде защитных газов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гупта А., Лилли Д., Сайред Н. Закрученные потоки./Гупта А.,Лилли Д.,Сайред Н.:пер.с англ.-М.:Мир,1987,- 588 с.
2. Ивенский В.Г. Использование воздушных вихрей для активирования открытых местных отсосов //Сб.НС "Теплоснабжение и вентиляция агропромышленного комплекса".-Ростов-на-Дону: РИСИ, 1988, С. 85-92.
3. Кузьмин М.С.,Овчинников П.А.Вытяжные и воздухораспределительные устройства. -М.: Стройиздат,1987,-168 с.
4. Писоренко В.Л.,Рогинский М.Л. Вентиляция рабочих мест в сварочном производстве.-М.: Машиностроение,1981,-120 с.
5. Посохин В.П.,Подольский А.Г. Экспериментальная проверка методов наложения,используемых при анализе взаимодействия спектра всасывания с приточной струей //Водоснабжение и санитарная техника.-М.: 1974, -№1,-С.23-25.
6. РД.0237631.016-86. Методические указания по проектированию отопления и вентиляции сборочно-сварочных цехов предприятий минсельхозмаша. -Одесса: СПКИ,1986,-146 с.
7. А.с. №1812024. В 23 К 9/173. Способ удаления вредностей при полуавтоматической сварке в защитном газе. ОИСИ. Стоянов Н.И., Зайцев О.Н., Бандуркин С.К., Семенов С.В., заявл.02.01.91.бюл.38,-3 с.
8. Бостанджиян С.А. Однородное винтовое движение жидкости в конусе с диафрагмой // Изв.АН СССР МЖГ, 1966, №1, -С.44-50.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТЕПЛОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВОЗДУШНЫХ ГЕЛИОКОЛЛЕКТОРОВ

Калафатов Н., Асанов М. М., Бекиров Э. А.

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

В работе приведены результаты экспериментальных исследований по определению теплопроизводительности воздушных гелиоколлекторов на основе сравнительного метода оценки тепловой мощности, получаемой из гелиоколлектора. На основании этого метода оценки температур нагрева гелиоколлектора от солнечной и электрической энергий получены осциллограммы температур нагрева гелиоколлектора от известной электрической мощности и расхода теплоносителя, что позволяет определить мощность и энергию гелиоколлектора, а также его КПД с учетом теплотерь через корпус гелиоколлектора.

Гелиоколлектор, теплопроизводительность, теплоэффективность

ВВЕДЕНИЕ

Основу тепловой гелиоэнергетики составляют устройства и оборудование, которые превращают солнечную радиацию в тепловую энергию. Теплоту солнечного излучения используют для горячего водоснабжения, отопления и охлаждения воздуха в зданиях, сушки разнообразных продуктов и материалов, поддержания температурных режимов технологических процессов в промышленности и сельском хозяйстве [1 – 4].

Применение в системах теплоснабжения оборудования солнечной, тепловой энергетики является приоритетной и с точки зрения экологии – количество вредных выбросов в атмосферу уменьшается на величину, которая образовалась бы при сгорании сэкономленного органического топлива. Системы солнечного теплоснабжения используют различные теплоносители. Воздушные гелиоколлекторы выгодно отличаются от жидкостных простотой конструкции, морозостойкостью и сравнительно небольшой стоимостью. Они используются для сушки сельскохозяйственной продукции и дополнительного обогрева помещения в солнечные дни (воздушное отопление).

Анализ публикаций

Известно много работ по исследованию производительности воздушных гелиоколлекторов [5 – 8]. В работе [5] описаны общие требования по увеличению мощности воздушного гелиоколлектора: использование качественной теплоизоляции для уменьшения потерь тепла, материал светопропускающей поверхности должен иметь высокий коэффициент пропускания и низкие коэффициенты поглощения и теплопроводности, использование недорогого абсорбера с высоким коэффициентом поглощения и теплопроводности, изготовление воздухопровода с малыми потерями давления и использование вентилятора с оптимальными скоростными характеристиками.

В работе [5] выполнено моделирование плоского воздушного солнечного коллектора с различными материалами поглощающей пластины (абсорбера) и светопропускающей поверхности. Среди проанализированных материалов абсорбера окрашенный пластик позволяет получить наибольшую мощность коллектора. Полиэтилен, в качестве светопропускающей поверхности, оказался эффективнее, чем стекло. Авторы предполагают, что это является следствием более низкого значения коэффициента отражения или более эффективного отношения коэффициента пропускания – коэффициента поглощения полиэтилена. Также установлено, что мощность коллектора увеличивается с увеличением массового расхода воздуха без точки экстремума.

В работе [8] представлены результаты экспериментального исследования одноканального воздушного гелиоколлектора с пятью ребрами, помещенными за абсорбером. Авторы отмечают, что благодаря установленным ребрам удалось увеличить

производительность коллектора, а именно достигнута теплоэффективность в 50,56 % при массовом расходе воздуха 0,016 кг/с.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Коэффициент излучения тепла из коллектора существенно зависит от массовой затраты теплоносителя и условий эксплуатации. В реальных условиях эксплуатации величина коэффициента излучения тепла из коллектора может отличаться от значения, полученного при испытаниях с фиксированным значением затрат теплоносителя по паспортным данным коллектора.

Задачей исследования является сравнительный метод оценки тепловой мощности, получаемого из гелиоколлектора.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе проведены исследования по влиянию на теплотехнические характеристики сушилки дополнительных солнечных воздухонагревателей.

Полезная энергия получаемая от воздухонагревателей может быть определена по формуле [2]:

$$Q = A_c \cdot F_R [I(\alpha \cdot \tau) - U_L(T_2 - T_1)], \quad (1)$$

где Q – удельная производительность коллектора, ГДж/м²год;

A_c – площадь одного модуля солнечного коллектора, м²;

I – интенсивность солнечной радиации, падающей на плоскость коллектора, Вт/м²;

U_L – коэффициент тепловых потерь коллектора, Вт/м²°С;

α, τ – коэффициенты поглощения и пропускания солнечного излучения соответственно;

T_1, T_2 – температура входящего и выходящего из гелиоколлектора воздуха, °С;

Коэффициент излучения тепла из коллектора F_R может быть выражен в виде:

$$F_R = \frac{m \cdot C_p}{A_c \cdot U_L} \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{A_c \cdot U_L \cdot F'}{m \cdot C_p}\right) \right], \quad (2)$$

где C_p – теплоемкость теплоносителя, Дж/кг°С;

F' – эффективность оребрения коллектора;

m – масса проходящего воздуха через гелиоколлектор, м².

Выражение (1) положено в основу практически всех действующих ныне стандартов по испытанию солнечных коллекторов. В результате исследования определяются стандартные параметры $F(\alpha\tau)$ и $F_R U_L$. Как видно из формулы (1) коэффициент излучения тепла из коллектора F_R , кроме других факторов, существенно зависит от массовой затраты теплоносителя m , а также условий эксплуатации.

В стандартных испытаниях $F_R(\alpha\tau)$ и $F_R U_L$ определяются лишь при некоторых фиксированных значениях затрат теплоносителя, полученные при этом параметры фигурируют в паспортных данных коллектора. В реальных же условиях эксплуатации величина F_R может отличаться от значения, полученного при испытаниях, что в определенных условиях может привести к завышению расчетной теплопроизводительности по сравнению с реальной.

С целью исключения всех вышеуказанных параметров входящих в формулу (1), нами предлагается сравнительный метод оценки тепловой мощности получаемого из гелиоколлектора. Опытная установка для регистрации параметров гелиоколлектора представлена на рис 1. Суть этого метода заключается в следующем. В гелиоколлекторе монтируется воздушный электрический нагреватель известной мощности. Сам гелиоколлектор устанавливается в помещении или в тени так, чтобы исключить влияние попадания солнечных лучей на абсорбер. В корпусе гелиоколлектора на пути воздушного потока, на входе и выходе устанавливаются термодатчики или приборы для записи температуры (рис. 2). Включается вентилятор и воздушный электрический нагреватель, при этом ведется измерение и запись температуры. Предварительно на входе и выходе

воздушного коллектора проводятся измерения скорости воздушного потока и определяется затрата воздуха в них. Далее электрический нагреватель отключается, гелиоколлектор охлаждается до начальной температуры и переносится на солнце, где воздушный коллектор нагревается от энергии солнечного излучения при включенном вентиляторе и продолжается фиксация температурного режима.



Рис. 1. Опытная установка для регистрации параметров гелиоколлектора

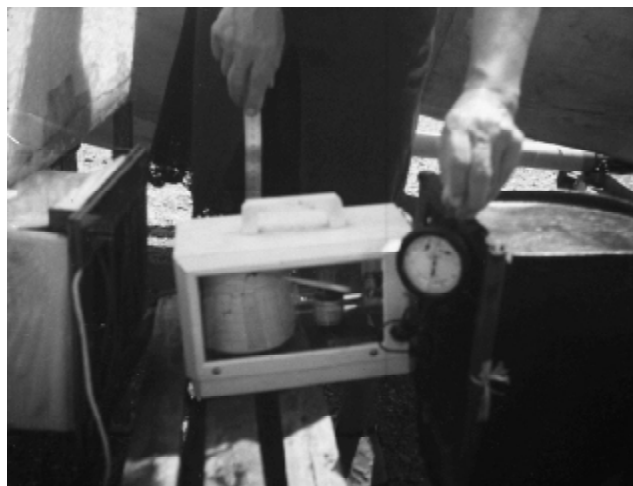


Рис. 2. Регистрация температуры воздуха, отсасываемого из гелиоколлектора

Условия проведения эксперимента:

- площадь гелиоколлектора – 2 м²;
- корпус воздушного гелиоколлектора – дерево, пропитанное влагостойким лаком;
- абсорбер выполнен из металлического листа окрашенный в черный цвет;
- светопропускающая поверхность – стекло 4 мм, поликарбонат ячеистой структуры 4 мм²;
- интенсивность солнечного излучения колебалась от 700-1000 Вт м² (прибор для измерения интенсивности солнечного излучения ДАУ 81);
- средняя температура окружающей среды – 30 °С;
- расход воздуха – 110 л/с.

Методика сравнительной оценки теплопроизводительности гелиоколлектора предусматривает следующие условия для его соблюдения:

- затраты воздуха или жидкости для сравниваемых источников тепла должна быть одинаковой;
- при оценке тепловой производительности жидкостных коллекторов электрический нагреватель подключается непосредственно к входному патрубку гелиоколлектора и соединяется с ним последовательно;
- интенсивность солнечного излучения за время испытания должно быть неизменной;
- постоянной должна быть температура окружающей среды и масса пропускаемого воздуха через гелиоколлектор.

На рис. 3 приводятся сравнительные данные записи температуры воздуха нагревателя при его нагреве как от теплоэлектронагревателя (ТЕНа) мощностью 4 кВт так и от солнечного излучения по вышеописанной методике.

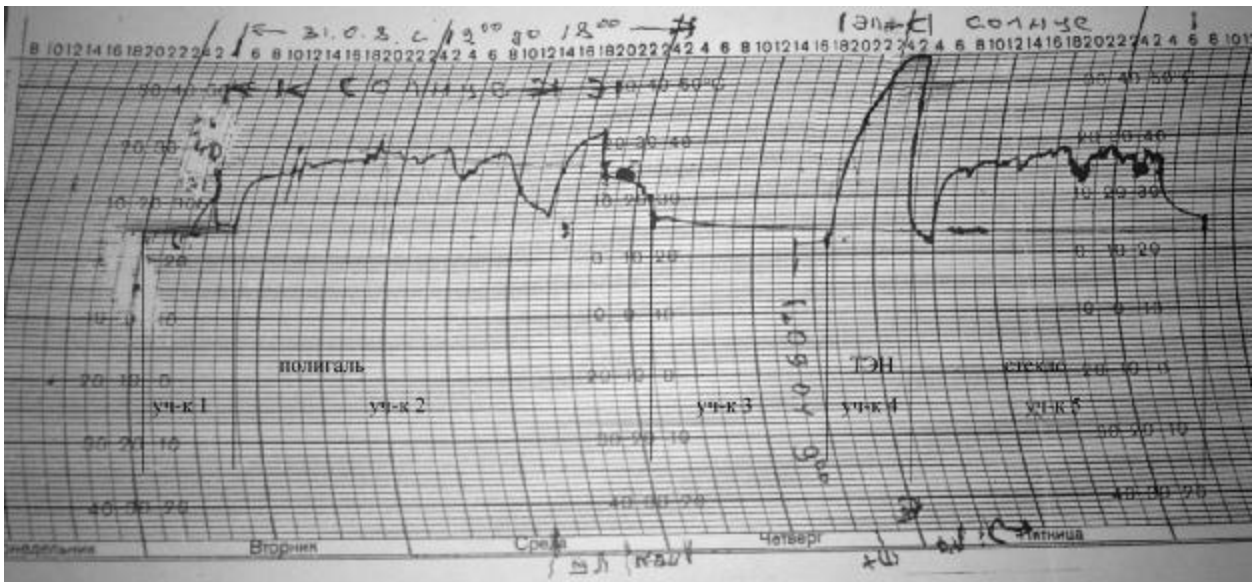


Рис.3 Сравнительные данные записи изменения температуры в гелиовоздухонагревателе: участок 1 – запись температуры окружающей среды; участок 2 – светопропускающая поверхность коллектора, которая покрыта полигалем; участок 3 – режим охлаждения гелиоколлектора; участок 4 – нагрев гелиоколлектора ТЭНом мощностью 4 кВт при работающем вентиляторе; участок 5 – светопропускающая поверхность коллектора покрыта стеклом

Запись температур проводилась двумя метрологическими термографами с биметаллическим чувствительным элементом типа М 16А. Перед установкой термографов в гелиоколлектор их записывающие элементы устанавливались на нулевую отметку, и запись начальной температуры проводилась в тени. При этом начальная температура (температура окружающей среды) достигала 25 °С и проверялась ртутным термометром. Таким образом, начало записи температуры термографов отвечают 25 °С (участок 1 на рис. 3).

Далее термопара одного из термографа устанавливалась на выходе воздуха из камеры гелиоколлектора, который находился в разогретом от солнца состоянии. При этом наблюдается резкий скачок от 25 до 35 °С записывающего элемента термографа при работающем вентиляторе (участок 2 на рис. 3). По истечении определенного времени все приборы приводились в первоначальное состояние, гелиоколлектор заносился в помещение. Схема подачи воздуха в гелиоколлектор восстанавливалась, приборы устанавливались в первоначальное положение, включался ТЭН и гелиоколлектор нагревался. Записи от нагрева ТЭНа приводятся на рис.3 участок 4.

С целью определения влияния материала светопропускающей поверхности на температурный режим гелиоколлектора поликарбонат заменялся стеклом такой же толщины. На рис. 3 (участок 5) представлена полученная характеристика нагрева гелиоколлектора со стеклянным покрытием.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Сравнение двух характеристик нагрева гелиоколлектора с поликарбонатной (рис. 3 участок 2) и со стеклянной (рис. 3 участок 5) светопропускающей поверхностью показало, что тепловая характеристика гелиоколлектора со стеклом на 5 °С ниже, чем с полигалем. Это объясняется исключительно повышенной теплоотдачей через поверхность стекла. Из сравнения температуры кривых на участках 2 и 4 рис. 3 можно заключить, что средняя температура нагрева гелиоколлектора от ТЭНа в 4 кВт выше чем от солнца на $40/60 = 0,66$. Исходя из этого можно заключить что КПД воздушного гелиоколлектора с поликарбонатным покрытием составляет 66 %.

Выводы

На основании предложенного сравнительного метода оценки температур нагрева гелиоколлектора от солнечной и электрической энергий получены осциллограммы температур нагрева гелиоколлектора от известной электрической мощности и расхода теплоносителя, что позволяет определить мощность и энергию гелиоколлектора, а также его КПД с учетом теплопотерь через корпус гелиоколлектора.

Предложенный метод может быть распространен не только для оценки тепловой эффективности воздушных, но и для жидкостных гелиоколлекторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мхитарян Н. М. Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников / Н. М. Мхитарян. – К.: Наукова думка, 1999. – 319 с.
2. Даффи У. Дж. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии / У. Дж. Даффи, У. А. Бекман; пер. с англ. под ред. Ю.Н. Малевского. – М.: Мир, 1977. – 413 с.
3. Думанский А.И. Использование нетрадиционных источников энергии в сельском хозяйстве / А. И. Думанский, В. Д. Касьяненко, В. М. Головки. – К.: УкрНИИТИ, 1987. – 36 с.
4. Бекман У. Расчет системы солнечного теплоснабжения / У. Бекман, С. Клайн, Дж. Даффи; пер. с англ. – М.: Энергоиздат, 1982. – 76 с.
5. Ion I. V. Design, developing and testing of a solar air collector / I. V. Ion, J. G. Martins // The Annals Of "Dunarea De Jos" University Of Galati, Fascicle IV Refrigerating Technique, Internal Combustion Engines, Boilers And Turbines. – 2006. – P.
6. Yeh H. Collector Efficiency in Downward-Type Double-Pass Solar Air Heaters with Attached Fins and Operated by External Recycle / H. Yeh, C. Ho // Energies. – 2012. – V. 5. – P. 2692 – 2707.
7. Abhishek S. Design and performance of a solar air heater with long term heat storage / S. Abhishek, A. Nitin, S. Ghansyam // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2013. – V. 60. – P. 8 – 16.
8. Chabane F. Design, developing and testing of a solar air collector experimental and review the system with longitudinal fins / F. Chabane, N. Moumami, S. Benramache // International Journal of Environmental Engineering Research. – 2013. – V. 2. - Issue 1. – P 18 – 26.

УДК 662.612-428.4

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ СЖИГАНИИ ГАЗА В ГОРЕЛКАХ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ СМЕШЕНИЕМ

Богатикова Н.В., Зайцев О.Н.

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

В статье приведены результаты исследования процесса прецессии вихревого ядра в закрученном потоке при наличии зоны обратных токов, получены теоретические зависимости скорости движения прецессирующего вихревого ядра, позволившие выявить область устойчивого положения вихревого ядра - равновесия центробежных и центростремительных сил в закрученном потоке при наличии зоны обратных токов. Выполнена визуализация процесса сжигания газа в инжекционных горелках при различной степени крутки потока.

Сжигание газа, закрученные потоки, вихревое ядро.

ВВЕДЕНИЕ

За последние годы для Украины вопросы повышения эффективности энергоиспользования, реализация политики энергосбережения, создания и совершенствования энергорынка, повышение эффективности функционирования энергетики стали наиболее приоритетными и непосредственно связаны с энергобезопасностью страны.

Эффективность функционирования энергетики и, как следствие, эффективность энергоиспользования зависят от многих технических факторов, среди которых основными являются следующие:

- структура и качественный состав генерирующих мощностей;
- сбалансированность спроса и предложения мощности и энергии в любое время;
- качество топлива;
- состояние инженерных сетей и др.;
- общегосударственных организационно-правовых вопросов (принадлежности основных фондов государству или другим формам собственности и их соотношения, корректности правил игры на фондовом энергетическом рынке, выбранных правил функционирования энергорынка и взаимоотношений между его участниками, от эффективности реализации политики энергосбережения).

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В настоящее время происходит новый этап развития систем микроклимата, заключающийся в повсеместном использовании систем, пришедших из-за рубежа. Применение зарубежного опыта предполагает ревизию и переоценку традиционных взглядов на основные показатели систем теплоснабжения, такие как санитарно-гигиенические, экономические, экологические, эстетические.

Рассматривая применяемые в настоящее время теплогенерирующие установки [1, 4] необходимо отметить, что основные производители предлагают котлы, работающие преимущественно на газообразном топливе, а для экономии и рационального использования последнего предлагается ряд мероприятий, по сути, стандартных для любой из фирм – модульные котлы, многорежимная работа горелок, конденсатные котлы [4]. Решение данного вопроса возможно при ориентации отопительного комплекса на использование вторичных и возобновляемых источников энергии. Так работы по использованию органических отходов коммунального хозяйства и возобновляемых источников топлива находятся практически в стадии возрождения, после периода «забвения» с 1945 года, когда в период Великой отечественной войны велись разработки по отоплению помещений за счет близких, не требующих доставки и разработки топлив.

Однако, при использовании разных видов топлива, в том числе и при газификации твердого топлива, изменяется количество требуемого для сжигания воздуха, что, соответственно, изменяет параметры факела горения и аэродинамику топки, то есть уменьшает КПД котла.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью настоящей работы является повышение эффективности работы котла при сжигании различных видов газового топлива.

Одним из способов достижения поставленной цели является использование аэродинамических особенностей закрученных потоков в топочном пространстве.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В теплоэнергетике область использования закрученных потоков охватывает значительную область, связанную с процессами выработки, транспортировки, передачи и использования тепловой энергии. При этом использование аэродинамики закрученных потоков позволяет интенсифицировать процессы тепло- и массообмена и оптимизировать конструктивные параметры оборудования.

Однако, неустойчивость процессов, происходящих вследствие возникновения прецессии вихревого ядра, при степени крутки потока S более 0,6 не дают возможности использовать в полной мере аэродинамические свойства закрученных потоков.

Существующие в настоящее время модели прецессии вихревого ядра в закрученном потоке не учитывают его изменения и предполагают неизменность геометрической формы вихревого ядра в любом поперечном сечении закрученного потока [1].

Модель прецессии вихревого ядра разрабатывалась в предположении, что вихревое ядро находится под воздействием основного вращающегося потока, распределение скоростей в котором соответствует динамическому вращению. Вращение же вихревого ядра описывалось как статическое вращение.

Кроме того, полагая, что на вихревое ядро действует сила динамического давления, а в самом ядре давление определяется как [2]:

$$P = \rho(4\pi\Omega)^2 \ln r, \quad (1)$$

где ρ — плотность, кг/м³;

Ω — угловая скорость, 1/с;

r — радиус вращения вихревого ядра вокруг оси закрученного потока, м.

На основании уравнений Навье -Стокса и неразрывности потока были получены уравнения для расчета скорости движения вихревого ядра в плоскости, перпендикулярной поступательному движению закрученного потока [3].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Результаты расчетов представлены на рис.1, где показано изменение скорости вихревого ядра в зависимости от удаления его от оси закрученного (основного) потока. Анализ полученного графика показал, что минимальная скорость движения вихревого ядра соответствует области основного потока между зоной обратных токов и внешней его границей (ось координат расположена в центре закрученного потока), что объясняется преобладающим воздействием центробежных сил на границе обратных токов, а на внешней границе — динамическим давлением основного потока на вихревое ядро. Кроме того, минимальная скорость движения вихревого ядра соответствует минимальному воздействию основного потока, то есть данная область является наиболее устойчивой. Таким образом, вихревое ядро располагается непосредственно вблизи зоны обратных токов и имеет максимум аксиальной скорости, а по мере движения вихревого ядра происходит уменьшение аксиальной и увеличение тангенциальной составляющих скорости, при этом само ядро увеличивается в размерах, что, при проведении аналогии с образованием вихрей при обтекании потоком газа твердых тел, позволяет предположить в дальнейшем его дробление на несколько вихревых ядер.

Рассмотрение профиля радиальной скорости (рис.2) показало, что скорость практически постоянна в области основного потока, возрастание ее при удалении от оси, что вызвано увеличением радиуса вращения вихревого ядра и соответственно, увеличением угловой скорости вращения.

Для качественного подтверждения полученных результатов выполнена фотосъемка процесса горения газа в закрученном потоке (рис.3).

Рассмотрение пламени, образованного при крутке сжигаемого газа внешним потоком воздуха в одиночной струе (рис.3) показало, что в данном случае также имеется прецессирующее вихревое ядро, которое располагается между областью обратных токов и внешней границей струи и вследствие разности скоростей на различных участках ядра размывается и имеет собственное вращение.

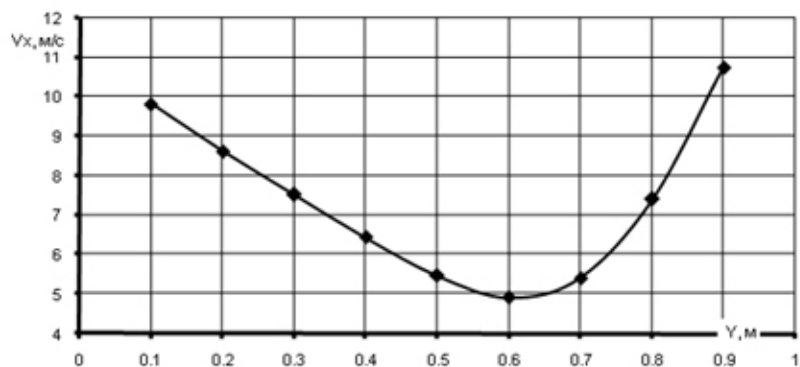


Рис.1. Изменение аксиальной скорости движения вихревого ядра.

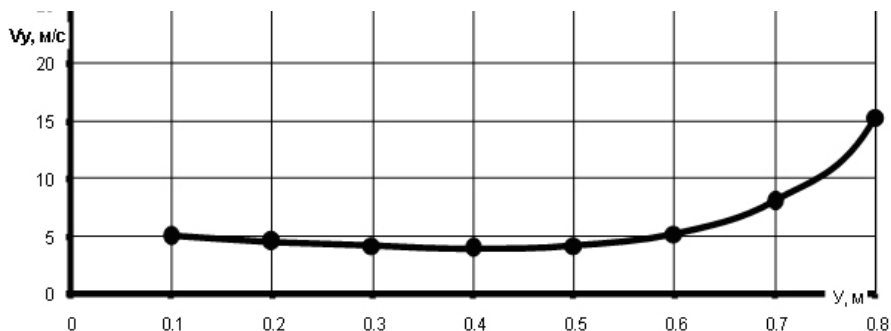
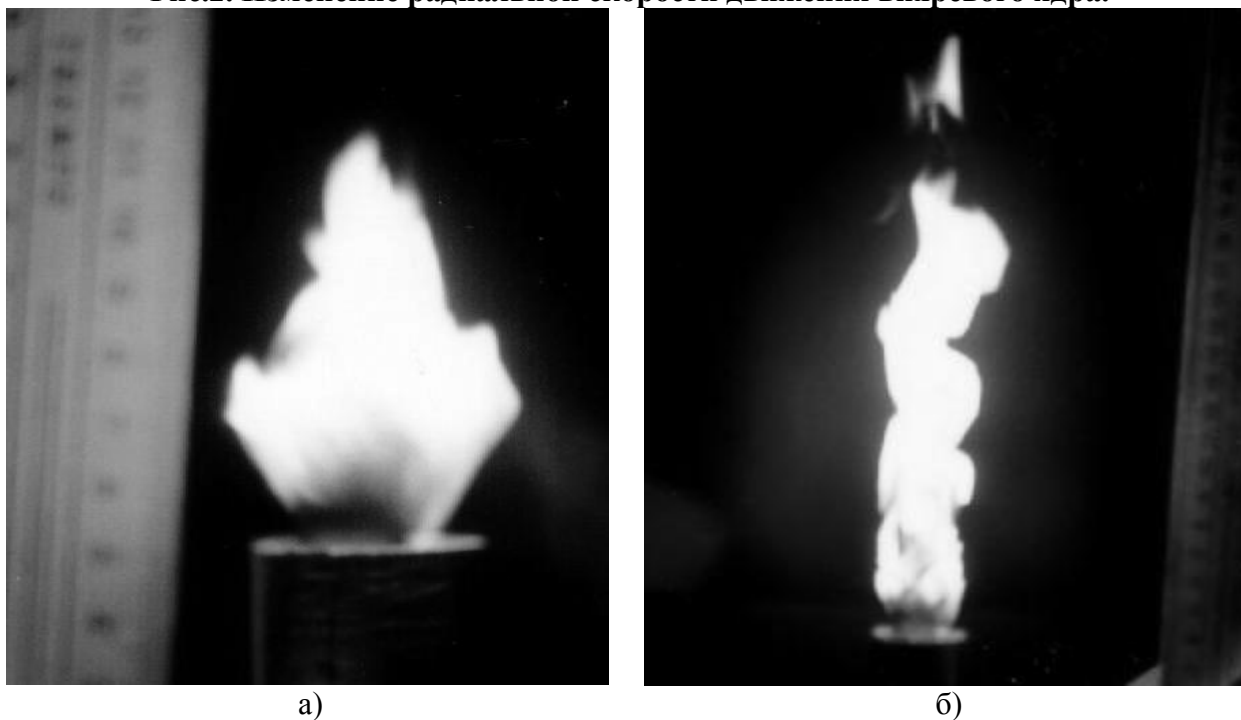


Рис.2. Изменение радиальной скорости движения вихревого ядра.



а)

б)

Рис.3. Сжигание газа с круткой факела внешним потоком вторичного воздуха при различных степенях крутки: а - при $S=0,8$, б - при $S=0,3$.

Выводы

Таким образом, в результате теоретических исследований получены зависимости скорости движения прецессирующего вихревого ядра, позволившие определить область устойчивого положения вихревого ядра — равновесия центробежных и центростремительных сил в закрученном потоке при наличии зоны обратных токов. При этом выявлено, что вихревое ядро располагается непосредственно вблизи зоны обратных токов и имеет максимум аксиальной скорости, а по мере движения вихревого ядра происходит уменьшение аксиальной и увеличение тангенциальной составляющих

скорости, при этом само ядро увеличивается в размерах, что, при проведении аналогии с образованием вихрей при обтекании потоком газа твердых тел, позволяет предположить в дальнейшем его дробление на несколько вихревых ядер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кныш Ю.А., Урывский А.Ф. Модель прецессии вихревого ядра закрученной струи. //Изв. ВУЗов, Авиационная техника, 1984, №3, -С.41—44.
2. Гупта А., Лилли Д., Сайред Н. Закрученные потоки: Пер. с англ. — М.: Мир, 1987, - 388 с.
3. Зайцев О.Н. Управление аэродинамической обстановкой в рабочем объеме теплогенерирующих установок. // Вісник ОДАБА №7, 2002, - С. 60—64.
4. В.Котлер. Газовые горелки для отопительных котлов: современные решения. //Аква-терм- К.: 02.2005, -С. 10-13.

УДК 696.2 (075.8)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ В ПОЛИЭТИЛЕНОВОМ ГАЗОПРОВОДЕ НАСЕЛЁНОГО ПУНКТА В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ

Боровский Б.И., Зорин А.М.

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

Установлено, что стоимость сельского полиэтиленового газопровода высокого давления меньше стального газопровода высокого давления на 44,3%. Это объясняется меньшей ценой полиэтиленовых труб и пониженной стоимостью их монтажа. При этом полиэтиленовому газопроводу соответствует меньший срок строительства на 24,1%, меньшая трудоёмкость строительно-монтажных работ на 33,2%, ниже срок окупаемости затрат на 44,1% и больший срок эксплуатации в 2,5 раза (50 и 20 лет). Полиэтиленовый газопровод высокого давления имеет преимущества по стоимости в 69,3 и 10% по сравнению с полиэтиленовыми газопроводами при распределительных газовых системах низкого и среднего давления, что вызвано меньшими диаметрами труб и, следовательно, меньшей материалоемкостью.

сельский газопровод, высокое, среднее и низкое давление газа, стальные и полиэтиленовые трубы

ВВЕДЕНИЕ

ДБН В.2.5-20-2001 «Газоснабжение» [1] требует: «При проектировании систем газоснабжения следует предусматривать технические решения, обеспечивающие рациональное использование газового топлива, материалов и оборудования». В связи с этим представляет интерес вопрос, каким проектировать сельский газопровод, с низким, средним или высоким давлением, какие целесообразно применять трубы, стальные или полиэтиленовые. ДБН определил, что «Полиэтиленовые газопроводы следует предусматривать на территории посёлков и сёл и на межпоселковых газопроводах - давление до 0,6 МПа» (высокое давление II категории).

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В работе [2] для жилого массива рекомендуется проектировать распределительный газопровод низкого давления. В [3] отмечается возможность проектирования распределительных газопроводов как низкого, так и среднего давления. Однако рекомендации по выбору давления газа отсутствуют. Поэтому следует ориентироваться на ДБН [1], который установил, что газопроводы определяются по давлению на основании технико-экономических расчётов. Полиэтиленовым трубам соответствует меньшая цена,

пониженная стоимость монтажа и лучшие эксплуатационные качества. В Европе полиэтиленовые трубопроводы составляют 95% всех трубопроводов. Япония приняла закон, требующий замены стальных трубопроводов полиэтиленовыми. В России с 1990г. до 2000г. протяжённость полиэтиленового газопровода возросла в 9 раз, с 1,9 до 17,3 тыс. км [4]. В Украине первый полиэтиленовый газопровод построен в середине 80-х годов в Донецкой области (длина 200 км). В октябре 2010г. в Светогорске Донецкой области сдан в эксплуатацию полиэтиленовый газопровод среднего давления длиной 23,6 км.[5]. Использование полиэтиленовых труб вместо стальных позволило снизить затраты с 41 до 30 млн. грн., т.е. на 26,8%, при этом гарантийный срок увеличен с 30 до 50 лет. В работе [6] показаны значительные технико-экономические преимущества сельского полиэтиленового распределительного газопровода среднего давления по сравнению со стальным газопроводом такого же давления.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

Целью является сравнение эффективности использования высокого давления газа в сельском газопровode. Задачи состоят в проведении проектных проработок газоснабжения реального села с высоким, средним и низким давлением газа при использовании стальных или полиэтиленовых труб.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Методика исследования заключается в проектной проработке газификации села с газопроводом в вариантах высокого, среднего и низкого давления газа, со стальными и полиэтиленовыми трубами.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

В качестве сельского населённого пункта выбрано село с площадью 340 га и населением 1386 чел., проживающих в 111 частных и в двух пятиэтажных домах, общее газопотребление составляет 992,3 м³/ч.

На рис. 1 приведен газопровод села длиной 10,77км, включающий газопровод высокого давления 11-22, соединяющий крупных газопотребителей: текстильное производство, котельная, хлебозавод, банно-прачечный комбинат и сетевой газорегуляторный пункт (ГРП), устанавливаемый в точке 15 при низком или среднем давлении в распределительном газопровode 2-10. Там же приведены значения расчётных часовых расходов газа (первая цифра) и рассчитанные значения диаметров стальных труб (в скобках - для полиэтиленовых труб): вторая, третья и четвёртая цифры соответствуют низкому, среднему и высокому давлению.

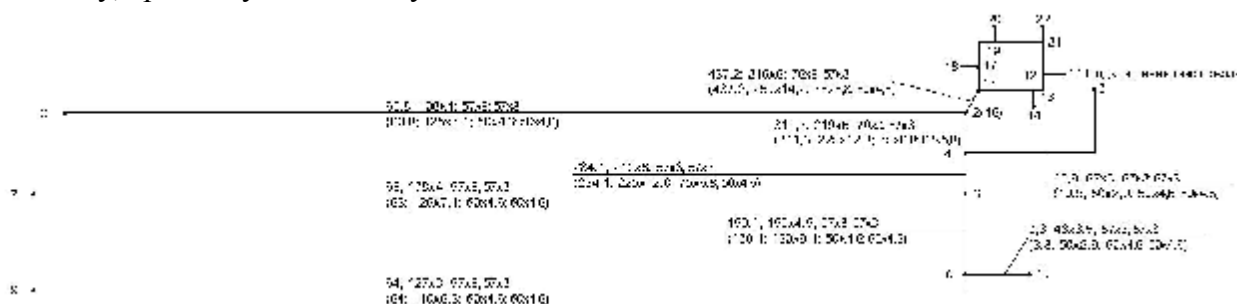


Рис.1. Газопровод села

Ветки распределительного газопровода низкого давления приняты с постоянными диаметрами, что снижает материалоёмкость газопровода и номенклатуру труб в сравнении с ветками переменных диаметров [7].

При расчёте распределительного газопровода низкого давления в соответствии с [3] принималось давление на выходе сетевого ГРП 3000 Па, а в тупиковых узлах – 1800+10% Па. В случае среднего давления на входе в газопровод 400 кПа абс., в тупиковых узлах не менее 240 кПа абс. При высоком давлении на входе в газопровод 700 кПа абс., в тупиковых узлах не менее 420 кПа абс. Минимальный проходной диаметр

газопровода в сельских условиях 40 мм. В табл. 1-3, в качестве примера, приведена стоимость стальных и полиэтиленовых труб низкого и высокого давления. Затраты на их прокладку определены по [8] с установленным коэффициентом пересчёта 29,3.

Таблица 1
Стоимость труб и стоимость их прокладки для стального распределительного газопровода низкого давления

$d_n \times s$ мм x мм	219 x 6	159 x 4,5	127 x 3	108x4	57x3	48x3,5
Длина, м	330	250	2950	5700	500	150
Стоимость 1 м трубы, грн.	290	147,5	86,9	70,8	27,6	26,4
Стоимость трубы, тыс. грн.	95,7	36,9	256,4	403,6	13,8	4,0
Стоимость прокладки 1 м трубы, грн.	351,1	236,3	187	161	82,5	66
Стоимость прокладки трубы, тыс. грн.	115,9	59,1	551,7	917,7	41,3	9,9
Всего	211,6	96,0	808,1	1321,3	55,1	13,9

Таблица 2
Стоимость труб и стоимость их прокладки для полиэтиленового распределительного газопровода низкого давления

$d_n \times s$ мм x мм	250x14,2	225x12,8	160x9,1	125x7,1	110x6,3	50x2,9
Длина, м	80	250	250	5700	2950	650
Стоимость 1 м, грн.	257	207,4	105,5	64,5	50	10,6
Стоимость трубы, тыс. грн.	20,6	51,9	26,4	367,7	147,5	6,9
Стоимость прокладки 1 м трубы, грн.	288,2	275	206,8	143	117	43,9
Стоимость прокладки трубы, тыс. грн.	23,1	68,8	51,7	815,1	345,2	28,5
Всего	43,7	120,7	78,1	492,7	1182,8	35,4

Таблица 3
Стоимость труб и стоимость их прокладки для стального и полиэтиленового распределительных газопроводов высокого давления

Газопровод	Стальной	Полиэтиленовый	
$d_n \times s$ мм x мм	57x 3	63x 5,8	50x4,6
Длина, м	9880	250	9630
Стоимость 1 м, грн.	27,6	23,6	14,9
Стоимость трубы, тыс. грн.	272,7	5,9	143,3
Стоимость прокладки 1 м трубы, грн.	77	55	43,9
Стоимость прокладки трубы, тыс. грн.	760,8	13,8	422,8
Всего	1033,5	19,7	566,3

Из табл. 1-3 следует, что при низком давлении номенклатура труб состоит из шести типов, а при высоком давлении номенклатура значительно меньше: стальные трубы - одно наименование, полиэтиленовые трубы - два наименования. При этом для всех давлений стальной и полиэтиленовый газопроводы по проходным диаметрам труб близки. Это свидетельствует о малом влиянии пониженного гидравлического сопротивления полиэтиленовых труб при заданных потерях давления на ветках газопровода.

Суммарная стоимость сельского стального газопровода низкого давления, с учётом цены сетевого ГРП (60 тыс. грн.), катодной защиты (15 тыс. грн.) и стоимости газопровода высокого давления, соединяющего крупных газопотребителей (89,2 тыс. грн.), составит 2670,2 тыс. грн., а стоимость полиэтиленового газопровода низкого давления, с учётом стоимости сетевого ГРП и стоимости газопровода для крупных газопотребителей (47,7 тыс. грн.), составляет 2062 тыс. грн., что ниже стоимости стального газопровода на 22,8% за счёт меньшей стоимости труб и их прокладки. Из табл. 3 следует, что суммарная стоимость стального газопровода высокого

давления, с учётом цены катодной защиты и стоимости газопровода для крупных газопотребителей, составит 1137,7 тыс. грн., а полиэтиленового газопровода высокого давления с учётом стоимости газопровода для крупных газопотребителей - 633,7 тыс. грн., преимущество полиэтиленового газопровода 44,3%.

По газовому оборудованию газопровод низкого давления существенно отличается от газопроводов среднего и высокого давления. Газопровод низкого давления оборудуется только сетевым ГРП, понижающим давление со среднего и высокого до низкого. В случае газопроводов среднего и высокого давления такое понижение давления осуществляется с помощью шкафных регуляторов давления (ШРП), устанавливаемых на каждом здании (доме). Стоимость сетевого ГРП составляет 60 тыс. грн., а стоимость одного ШРП – 1,2 тыс. грн. с установкой. Однако, стоимость сетевого ГРП оплачивает строитель газовой системы, а ШРП на домах становятся индивидуальной собственностью домовладельцев и они ШРП оплачивают как и газовые, водяные и электрические счётчики, а исполнитель газопровода получает дополнительный доход.

Сводные данные по сравнению стального и полиэтиленового сельских газопроводов в части затрат на газификацию села, трудоёмкости монтажных работ, сроков строительства и окупаемости затрат приведены в табл.4.

Таблица 4

Сравнение стального и полиэтиленового газопроводов

Показатель	Сталь	Полиэтилен	Преимущества полиэтилена, %
Затраты на газификацию села при низком давлении, тыс. грн.	2670,2	2062	22,8
Затраты на газификацию села при среднем давлении, тыс. грн.	1204,2	704,3	41,5
Затраты на газификацию села при высоком давлении, тыс. грн.	1137,7	633,7	44,3
Трудоёмкость монтажных работ, чел. день	3636,4	2426,6	33,2
Срок строительства, дни	54	41	24,1
Срок окупаемости затрат при низком давлении, месяц	1,4	1,1	21,4
Срок окупаемости затрат при среднем давлении, месяц	0,63	0,37	41,3
Срок окупаемости затрат при высоком давлении, месяц	0,59	0,33	44,1

Из табл.4 видно, что по всем показателям полиэтиленовый газопровод имеет преимущества перед стальным газопроводом на уровне 21,4-44,3%.

Однако преимущества давления понижаются с ростом давления как в случае стального газопровода, так и в случае полиэтиленового газопровода. Так если при полиэтиленовом газопроводе преимущество по затратам высокого давления над низким составляет 69,3%, то над средним давлением это преимущество снижается до 10%.

Выводы

1. Показано, что стоимость сельского полиэтиленового газопровода высокого давления меньше стального газопровода высокого давления на 44,3%. Это объясняется меньшей ценой полиэтиленовых труб и пониженной стоимостью их монтажа. При этом полиэтиленовому газопроводу соответствует меньший срок строительства на 24,1%, меньшая трудоёмкость строительно-монтажных работ на 33,2%, ниже срок окупаемости затрат на 44,1% и больший срок эксплуатации в 2,5 раза (50 и 20 лет).

2. Преимущества давления понижаются с ростом давления как в случае стального газопровода, так и в случае полиэтиленового газопровода. Так если при полиэтиленовом газопроводе преимущество по затратам высокого давления над низким составляет 69,3%, то над средним давлением это преимущество снижается до 10%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Газоснабжение. ДБН В.2.5-20-2001- К.: Государственные строительные нормы Украины. 2001.- 287с.
2. Ионин А.А. Газоснабжение / Ионин А.А. – М.: Стройиздат, 1989. - 439с.
3. Єнін П.М. Газопостачання населених пунктів і об'єктів природним газом / Єнін П.М., Шишко Г.Г., Предун К.М.. – К.: Логос. 2002. – 198 с.
4. Полиэтиленовые распределительные газопроводы в России / Бухин В.Е., Карин В.Ю. //Трубопроводы и экология. – М.-2002.- №1. – С. 26 - 28.
5. Коник А. Первый в стране полиэтиленовый газопровод запустили в Донбассе/ Коник А.// Комсомольская правда в Украине. -2010.-12.10.
6. Технично–экономическое сравнение распределительного газопровода низкого и среднего давления в населённом пункте сельской местности / Боровский Б.И., Баранова Г.Н.// Строительство и техногенная безопасность. -- Симферополь: НАПКС. -2013. – Вып.47. - С.124-129.
7. Возможность выполнения веток тупиковых газопроводов низкого давления с постоянным диаметром / Боровский Б.И., Лапина Е.А. // Строительство и техногенная безопасность. – Симферополь: НАПКС.-2010. – Вып. 32. - С. 180 – 185.
8. Пособие по водоснабжению и канализации городских и сельских поселений (к СНиП 2.07.01-89)—М.: ЦИТП, 1992. — 56 с.

УДК 696.2 (075.8)

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРАДИЦИОННЫХ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ В ДОМОВЫХ КОТЛАХ

Боровский Б.И., Поднебесный С.В.

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

Технико-экономическое сравнение использования в котлах различных энергоносителей показало, что наименьшие приведенные к году затраты соответствуют каменному углю. Наблюдается следующая последовательность нарастания приведенных затрат: каменный уголь, дрова, газ, электроэнергия и дизельное топливо. Это подтверждает целесообразность перехода на уголь и дрова при росте стоимости газа. Однако необходимо применение систем очистки дымовых выбросов. Самым удобным является использование электроэнергии, однако за комфорт требуется значительная доплата.

каменный уголь, дрова, газ, электроэнергия, дизельное топливо, приведенные затраты

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в связи с удорожанием природного газа при котельном отоплении жилых домов стали, помимо газа, использовать другие традиционные энергоносители – дрова, уголь, дизельное топливо и электроэнергия. Многие зарубежные фирмы предлагают домовые котлы, работающие на указанных энергоносителях. Однако отсутствие сравнения этих энергоносителей не даёт возможность сделать рациональный выбор энергоносителя для отопления жилого дома.

Анализ публикаций

Для отопления жилого дома нет возможности использовать нетрадиционный источник энергии, например, солнечную энергию из-за малой мощности и существенной зависимости от времени года. Поэтому солнечная энергия в быту применяется только для горячего водоснабжения [1]. Использование угля для отопления рассмотрено в работах [2,

3]. Показаны условия, при которых уголь становится экономичнее природного газа в случае обеспечения экологических требований [3].

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

Цель данной статьи состоит в технико-экономическом сравнении использования в котлах природного газа, дров, угля, дизельного топлива и электрической энергии. Задачи заключаются в проведении расчётов затрат на отопление этими энергоносителями при одинаковых условиях отопления.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Методика исследования заключается в проектной проработке отопления жилого дома с использованием различных энергоносителей.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Для исследования рассмотрим отопление коттеджа площадью 270 м² или, что тоже самое, автономное отопление трёх подъездов коммунального дома. Количество необходимой теплоты на отопление и вентиляцию определим по формуле (МДж\год) [4]:

$$Q = [24(1 + k)(t_b - t_{cp,o})/(t_b - t_{p,o}) + zkk_1(t_b - t_{cp,o})/(t_b - t_{p,v})]qn_oF/\eta_o, \quad (1)$$

Где $t_b, t_{p,o}, t_{p,v}, t_{cp,o}$ – температура °С, соответственно, воздуха в помещении, расчётная наружная для проектирования отопления, расчётная наружная для проектирования вентиляции, средняя наружная за отопительный сезон; k, k_1 – коэффициенты, учитывающие расходы теплоты на отопление и вентиляцию ($k=0,25, k_1=0,4$); z – среднее число часов работы вентиляции в течение суток; q – максимальный часовой расход теплоты на отопление здания; n_o – продолжительность отопительного сезона в году; F – площадь отапливаемого здания, м²; η_o – КПД отопительного котла.

Для юга Украины принимается: $t_b = 20^{\circ}\text{C}$, $t_{p,o} = -20^{\circ}\text{C}$, $t_{p,v} = -15^{\circ}\text{C}$, $t_{cp,o} = 1^{\circ}\text{C}$, $z = 18$ час/сут, $q = 0,544$ МДж/ч.м², $n_o = 165$ сут/год.

В табл. 1 приведены параметры котлов, работающих на различных энергоносителях. При выборе котла исходили из двух условий: мощность, необходимая для отопления, должна быть близка к максимальной мощности котла, и стоимость котла должна быть минимальной.

Мощность, необходимая для отопления, определяется соотношением (кВт):

$$N_o = Q10^3/\tau_o, \quad (2)$$

где τ_o – продолжительность отопительного сезона, сек; $\tau_o = n_o 24 * 3600$, сек.

Таблица 1

Параметры котлов

Марка	Страна	Тип	Энергоноситель	Цена (Ц), грн	N, кВт	η_o
Viessman Vitopend WR36	Германия	Конденсационный одноконтурный	Природный газ	12768	5,2-26	1,09
Viessman GAZ 3000WZS-3a 2AE	Германия	Газовый	Природный газ	10056	10-27,6	0,93
Protherm Бизон NL 31,5	Чехия	Жидкотопливный	Дизельное топливо	8990	31,3	0,90
Viadrus Hercules U22D7	Чехия	Твёрдотопливный	Дрова	9505	35	0,78
Viadrus Hercules U22D7	Чехия	Твёрдотопливный	Каменный уголь	9505	35	0,75
Dakon RTE27	Словакия	Электрический	Электроэнергия	8358	10-27	0,99

С использованием данных табл. 1 и формул (1), (2) проведены экономические расчёты, результаты которых приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты экономических расчётов

Марка	Энергоноситель	Q, 10 ⁴ МДж/год	N ₀ , кВт	Теплота сгорания (q _{ср}), МДж/м ³ , МДж/кг	Годовой расход энергоносителя (V _г), м ³ /год, кг/год	Цена единицы энергоносителя, грн. (C)	Годовая стоимость энергоносителя (Э _г), грн.	Приведенные затраты (З _{пр}), грн.
Viessman Vitopend WR36	Природный газ	33,86	23,8	35,84	9448	2,2482 грн./м ³	21241	22837
Viessman GAZ 3000WZS - 3a 2AE	Природный газ	39,60	27,6	35,84	11050	2,2482 грн./м ³	24843	26100
Protherm Бизон NL 31,5	Дизельное топливо	41,0	28,8	42,70	9602 кг, 12486 л	9,93 грн./л	123986	125110
Viadrus Hercules U22D7	Дрова	47,31	33,2	10,0	47310 кг, 63,1 м ³	200 грн./м ³	12620	13808
Viadrus Hercules U22D7	Каменный уголь	49,20	34,5	22,0	22360	0,407 грн./кг	9100	10288
Dakon RTE27	Электроэнергия	37,27	26,2	-	103752 кВтч	0,9576 грн./кВтч	99353	100398

Теплота сгорания украинского каменного угля принималась средней величиной [5].

Годовой расход энергоносителя рассчитывался по формуле

$$V_g = Q/q_{ср}, \quad (3)$$

Литровый расход дизельного топлива находился по стандартной плотности 0,769 кг/л. Расход дров в куб. м вычислялся при средней плотности дуба, граба, бука и ясеня, равной 750 кг/м³.

Затраты электроэнергии определялись соотношением

$$V_g = N_0 n_0 24, \quad (4)$$

Цена м³ газа для населения при наличии счётчика и годовом потреблении не более 12000 м³ составляет 2,2482 грн. Текущая цена литра дизельного топлива в Крыму равна 9,93 грн. В интернете предлагаются дрова из дуба, граба, бука и ясеня по цене 200 грн. за м³. Государством установлена цена каменного угля для населения в Крыму 407 грн./т. Для жилых домов с электроотопительными установками определён тариф 0,9576 грн./кВтч при месячном потреблении электроэнергии более 3600 кВтч.

Приведенные к одному году затраты при стандартном сроке окупаемости капитальных трат 8 лет рассчитываются по формуле

$$Z_{пр} = 0,125Ц + Э_g, \quad (5)$$

Анализ данных табл. 2 показывает, что, несмотря на повышенную цену, конденсационному газовому котлу из-за большего КПД соответствуют на 12,5% меньшие приведенные затраты, чем у обычного газового котла. Наименьшие приведенные затраты соответствуют котлу, работающему на угле.

В табл. 3 дано сравнение приведенных затрат котлов, использующих различные энергоносители, с котлом, работающим на угле.

Таблица 3

Сравнение котлов по приведенным затратам и часовым затратам на энергоноситель

Марка	Энергоноситель	$Z_{пр}/Z_{пр}^{уголь}$	$S/S_{уголь}$
Viessman Vitopend WR36	Природный газ	2,22	2,07
Viessman GAZ 3000WZS- 3a 2AE	Природный газ	2,54	2,40
Protherm Бизон NL 31,5	Дизельное топливо	12,2	12,1
Viadrus Hercules U22D7	Дрова	1,34	1,24
Viadrus Hercules U22D7	Каменный уголь	1,0	1,0
Dakon PTE27	Электроэнергия	9,76	9,72

Из табл. 3 видна следующая последовательность нарастания приведенных затрат: каменный уголь, дрова, газ, электроэнергия и дизельное топливо. Это подтверждает целесообразность перехода на уголь и дрова при росте стоимости газа. Однако необходимо использование систем очистки дымовых выбросов. Вместе с тем по комфорту эксплуатации котлов энергоносители располагаются в такой последовательности: электроэнергия, природный газ, дизельное топливо, дрова и каменный уголь. Самым удобным является использование электроэнергии. Но за комфорт требуется значительная доплата. Приведенные затраты дизельного топлива и электроэнергии соответственно в 12,2 и 9,76 раз больше, чем в случае каменного угля, а природному газу соответствуют приведенные затраты примерно в 2,4 раза больше, чем каменному углю.

Для сравнения эффективности котлов в работе [6] предлагаются следующие показатели, не требующие подробных тепловых расчётов: 1 кВт мощности котла необходим для обогрева 10 м² площади утепленного помещения высотой 3м.; расход жидкого топлива л/ч равен 0,1N_{макс} Первый показатель приближенный. Действительно, проведенные расчёты показали, что при отапливаемой площади 270 м² необходимая мощность котлов в зависимости от энергоносителя изменяется от 23,8 до 34,5, т.е. в 1,45 раз. Вместе с тем, сообщая мощность котла, фирма приводит обогреваемую площадь, практически исходя из приведенной нормы. Второй показатель, определяющий связь часового расхода топлива с мощностью котла, должен зависеть от теплоты сгорания топлива q_{сг}. После преобразований получим:

$$V_{ч} = 3,6N/q_{сг} = K_{сг}N, \quad (6)$$

где N в кВт; V_ч – часовой расход энергоносителя, кг/ч, м³/ч, л/ч при соответствующей размерности q_{сг} МДж/кг, МДж/м³, МДж/л; K_{сг} –коэффициент энергоносителя.

Однако потребителя тепловой энергии, прежде всего, интересуют его будущие денежные затраты. В связи с тем, что расчёт приведенных затрат не оперативен и затруднителен, предлагается определять часовые затраты на энергоноситель, рассчитываемые по формуле (грн./ч):

$$S = CV_{ч}, \quad (7)$$

где C – цена единицы энергоносителя.

Показателя S удобен для сравнения котлов, так как в каталогах обычно указывается часовой расход топлива $V_{\text{ч}}$ или он рассчитывается по выше приведенной формуле, а цену единицы топлива можно определить в интернете.

Для электродвигателя

$$S = CN, \quad (8)$$

В табл. 4 приведены рассчитанные значения K_3 , $V_{\text{ч}}$, S и $S/S_{\text{уголь}}$.

Таблица 4

Расчёт показателей K_3 , $V_{\text{ч}}$, S и $S/S_{\text{уголь}}$

Марка	Энерго-носитель	K_3	$V_{\text{ч}}$	S , грн./ч	$S/S_{\text{уголь}}$
Viessman Vitopend WR36	Природный газ	0,1	2,38 м ³ /ч	5,35	2,07
Protherm Бизон NL 31,5	Дизельное топливо	0,11	3,17 л/ч	31,48	12,1
Viadrus Hercules U22D7	Дрова	0,36	11,95 кг/ч	3,19	1,24
Viadrus Hercules U22D7	Каменный уголь	0,184	6,35 кг/ч	2,58	1,0
Dakon PTE27	Электроэнергия	--	--	25,09	9,72

При расчётах значения N_o , $q_{\text{сг}}$ и C взяты из табл. 2, кроме стоимости дров, которая пересчётом определена равной 0,267 грн./кг. Отметим, что для дизельного топлива при расчёте часового литрового расхода $K_3 = 0,09$. Таким образом, действительно, для жидких топлив коэффициент K_3 близок к 0,1. Такое же значение соответствует и природному газу.

Для сопоставления отношений $S/S_{\text{уголь}}$ и $Z_{\text{пр}}/Z_{\text{пр}}^{\text{уголь}}$, значения $S/S_{\text{уголь}}$ приведены в табл. 3. Из табл. 3 видно, что отношения $S/S_{\text{уголь}}$ и $Z_{\text{пр}}/Z_{\text{пр}}^{\text{уголь}}$ очень близки. Это связано с тем, что $S/S_{\text{уголь}}$ отражает отношение годовой стоимости энергоносителей. Таким образом, при сравнении котлов достаточно определять часовые затраты на энергоноситель.

Известно, что газ в экологическом отношении лучше, чем уголь. В каталоге [7] форсунки для котельных разделены на три класса, с увеличением номера класса выбросы вредных веществ уменьшаются. Выбросы оксида углерода при сжигании дизельного топлива для форсунок первого и второго классов на 10% больше, чем в случае природного газа, однако для третьего класса, наоборот, эти выбросы меньше на 40%. Выбросы диоксида азота при первом классе одинаковы и для дизельного топлива, и для газа, но при втором и третьем классах эти выбросы больше для дизельного топлива на 54% и 50%. С помощью работы [8] сравним выбросы пыли и оксида углерода при сжигании каменного угля и дров (данные по диоксиду азота для дров отсутствуют). В этой работе предложены следующие соотношения:

Пыль, т/год

- для угля

$$P_y = 0,0023V_{\text{г}} A/100, \quad (9)$$

где $V_{\text{г}}$ – годовой расход угля, т/год; A – зольность угля, %.

- для дров

$$P_d = 0,024 V_{\text{г}}, \quad (10)$$

где $V_{\text{г}}$ – годовой расход дров, т/год.

Оксид углерода, т/год

- для угля

$$B_y = 0,0019 V_{\text{г}} q_{\text{сг}}, \quad (11)$$

где $q_{ст}$ – теплота сгорания угля, МДж/кг.

- для дров

$$V_d = 0,0014V_g q_{ст}, \quad (12)$$

где $q_{ст}$ – теплота сгорания дров, МДж/кг.

При расчётах вредных выбросов принята средняя зольность украинских каменных углей, равная 26% [5]. Результаты расчётов по приведенным формулам даны в табл. 5 для котла Viadrus Hercules U22D7.

Таблица 5

Расчёт выбросов вредных веществ

Энергоноситель	Пыль, т/год	Оксид углерода	P_d / P_v	V_d / V_v
Каменный уголь	0,013	0,93	87,7	0,71
Дрова	1,14	0,66		

Из табл. 5 следует, что в данном случае выбросы пыли при сжигании дров значительно больше, чем при сгорании каменного угля, что представляется неожиданным. Выбросы оксида углерода при сжигании этих энергоносителей примерно одинаковы.

Выводы

1. Минимальные приведенные затраты соответствуют использованию каменного угля. Наблюдается следующая последовательность нарастания приведенных затрат: каменный уголь, дрова, газ, электроэнергия и дизельное топливо. Это подтверждает целесообразность перехода на уголь и дрова при росте стоимости газа, электроэнергии и дизельного топлива. Однако необходимо использование систем очистки дымовых выбросов.

2. Вместе с тем, по комфорту использования котлов энергоносители располагаются в такой последовательности: электроэнергия, природный газ, дизельное топливо, дрова и каменный уголь. Самым удобным является применение электроэнергии. Таким образом, за комфорт требуется значительная доплата.

3. Для сравнения экономической эффективности котлов, работающих на разных энергоносителях предложено использовать показатель – часовые затраты на энергоноситель. Этот показатель легко рассчитать по данным каталогов котлов и стоимости единицы энергоносителей.

4. Несмотря на повышенную цену, конденсационному газовому котлу из-за большего КПД соответствуют меньшие приведенные затраты, чем у обычного газового котла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казаченко С.В. Солнечная энергетика в Крыму/ С.В. Казаченко, С.А. Кибовский, А.С. Мазин, Е.В. Николаев А.С. Слепокуров, В.У. Стоянов. Киев-Симферополь: ТС НИО Крым.2008. – 200 с.
2. Перспективы использования угля в энергетике Украины /Б.И. Боровский,Е.В. Аметина // Строительство и техногенная безопасность. – Симферополь: НАПКС. – 2010. Вып. 33-34. – С. 372 – 376.
3. Газоснабжение городского микрорайона с коммунальной угольной котельной /Б.И. Боровский,Е.В. Аметина // Строительство и техногенная безопасность. – Симферополь: НАПКС. – 2011. Вып. 36. – С. 118-123.
4. Ионин А.А. Газоснабжение / А.А. Ионин. М.: Стройиздат. 1989. – 439с.
5. Гусев Ю.Л. Основы проектирования котельных установок. /Ю.Л. Гусев. М.: Стройиздат. 1973. – 248 с.
6. Отопительные котлы: какими они бывают и как их выбирают. Режим доступа: <http://www.s-h-o-p.com.ua/gazheater.shtml>.
7. Горелки RIELLO, Каталог. 2009. – 180с.
8. Эколого-экономическая оценка деятельности МУП «Сыктывкарский банно-прачечный трест». Режим доступа: <http://www.bestreferat.ru/referat—185269.html>. 2010г.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШУМОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Воскресенская С.Н. , Аблязов К.Р.

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

В статье рассматривается методика расчета шума от нескольких эквивалентных источников. Производится расчет для ветроэлектростанции, когда ветрогенераторы располагаются в шахматном порядке, по кругу и в ряд. Сравниваются шумовые воздействия для нескольких видов ветрогенераторов, а также необходимые площади. Проводится анализ и выбор размещения на площадке ветроэлектростанции, при котором шумовое воздействие будет минимальным.

Ключевые слова: ветроэлектростанция, ветроэлектроустановка, шум, шумовое воздействие, трансформатор.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема борьбы с шумом является одной из актуальных. Когда-то шум наносил вред здоровью людей лишь отдельных специальностей, теперь жертвами действия шума становятся все работники предприятий и все жители городов. В соответствии с этим производство вносит дополнительные требования к проектированию машин. Здесь необходимо ввести критерий акустического проектирования, обеспечивающий минимальный уровень шума, утвердить новые нормы, определяющие показатель шумового воздействия новой техники наряду с КПД, металлоемкостью, энергоемкостью, экономичностью, надежностью.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Шум – это беспорядочное сочетание различных по частоте и силе звуков, мешающих человеческой деятельности и вызывающих неприятные ощущения. Длительное воздействие шума на организм человека приводит к головной боли, бессоннице, ослаблению внимания и конечно к частичной или полной утрате слуха. Повышенный уровень шума, кроме того, при выполнении некоторых работ приводит к снижению производительности труда [1]. В связи с этим, его снижение до допустимых значений, защита от него людей – очень важная и сложная задача.

Источниками шума могут быть вибрирующие, колеблющиеся тела, которые вызывают звуковые волны, распространяющиеся в твердых, жидких и газообразных средах. За единицу измерения звукового давления принят бел (Б). На практике применяется более мелкая единица децибел (дБ) [2].

Основные средства и методы борьбы с шумом можно разделить на три группы: гашение шума в источниках звука (устранение дебалансов в двигателях машин, применение смазок, установка звукозащитных кожухов, экранов, глушителей, применение резины, войлока, картона и покрытия стен мягким материалом); рациональное планирование территорий и помещений, сокращение времени работы в шумных условиях; применение индивидуальных средств защиты (антифоны, наушники, шлемы, вкладыши).

Основная часть звуковых волн многократно отражается от стен, потолка помещения, выполненных из обычных строительных материалов (бетон, кирпич, стеклоблоки). В результате этого общий уровень шума в помещении возрастает на 5-15 дБ. Применение специальных звукопоглощающих материалов и устройств при облицовке стен и потолка дает снижение шума на 6-8 дБ. Наибольший эффект обеспечивают материалы пористые, рыхлые, с ячеистой структурой, с малым удельным весом (минеральная вата, маты из войлока, мелкофракционный керамзит).

При оценке звукового воздействия от источника шума при его эксплуатации уровень шума на заданном расстоянии R (при R более 30 м) определяют по формуле:

$$L_A = L_{PA} - 10 \cdot \lg S, \quad (1)$$

где $S = \pi \cdot R^2$ – площадь, для которой рассчитывается распространение шумового воздействия, m^2 ;

$L_{РА}$ – звуковая мощность источника шума, дБ.

Рассмотрим, как рассчитать суммарный уровень шума при рассмотрении нескольких эквивалентных источников. Для того чтобы в расчетной точке пространства определить уровень звукового давления, создаваемого несколькими источниками, нельзя производить простое сложение уровней звукового давления этих источников.

Суммарный уровень шума $L_{общ}$ при совместном действии двух источников с уровнями шума L_1 и L_2 вычисляется по формуле:

$$L_{общ} = L_1 + \Delta L, \quad (2)$$

где L_1 – наибольший из двух суммируемых уровней, дБ;

ΔL – поправка, зависящая от разности уровней, дБ (принимается из таблицы 1).

Таблица 1

Значение поправки ΔL в зависимости от разности $L_1 - L_2$

Разность уровней $L_1 - L_2$, дБ	0	1	2	2,5	3	4	5	6	7	8	10	15
Поправка ΔL , дБ	3	2,5	2,2	2	1,7	1,5	1,2	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2

Формула (2) может быть использована для расчета суммарного уровня шума от нескольких источников, если суммирование производить последовательно, то есть, начать вычисления с двух наиболее интенсивных источников и определить их суммарное звучание, далее полученное значение уровня шума сложить с эффектом, создаваемым третьим по интенсивности источником, и так вести вычисления до последнего источника.

Если разность уровней двух источников более 8 дБ, с шумом более слабого источника можно не считаться, так как его вклад в общий шум весьма незначителен или полностью отсутствует [3, 4].

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

Целью работы является расчет уровня звукового воздействия ветроэлектростанции (ВЭС) на определенной территории.

Основной задачей работы является сравнение занимаемых площадей и уровней шума при различных способах расположения ветроэлектроустановок (ВЭУ).

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для проведения исследований используется методика расчета шума от нескольких эквивалентных источников и графоаналитический метод.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Расчет проводился для электростанции мощностью до 16 МВт. Было рассмотрено три варианта расположения ветроустановок: в шахматном порядке, по кругу и в ряд (рис. 1). На рис. 1 окружностями обозначены ВЭУ, квадратами трансформаторы (пронумерованы от 1' до 8'), 1 и 2 – точки замера шума. В расчете использовались 3 турбины различной мощности: Gamesa G87-2.0 MW, Gamesa V52-850 kW, Vestas V110-2.0 MW. ВЭУ фирмы Gamesa G87- 2.0MW с номинальной мощностью 2 МВт, диаметром ротора – 87 м, уровнем звуковой мощности – 105 дБ. ВЭУ Gamesa V52-850 kW имеет мощность 850 кВт, диаметр ротора – 52 м, уровень звуковой мощности – 104 дБ, а фирмы Vestas V110-2.0 MW: мощность 2 МВт, диаметр ротора – 88 м, уровень звуковой мощности – 107,5 дБ.

Для преобразования напряжения на ВЭС установлены силовые трансформаторы: 1 трансформатор мощностью 16 МВт (ТД-16000/10); 8 трансформаторов мощностью 2МВт (ТМ-2500/10) с уровнем звуковой мощности 76 дБ. Для турбин Gamesa V52-850 kW использовались 17 трансформаторов мощностью 1МВт, звуковая мощность 73 дБ.

Расчет шума производился для двух точек на территории ВЭС, размерами 1760 м × 3960 м, расположение ВЭУ изображено на рис. 1, а. Зная расположение ВЭУ на территории, находим расстояние от каждой ВЭУ до точки замера шума (таблица 2).

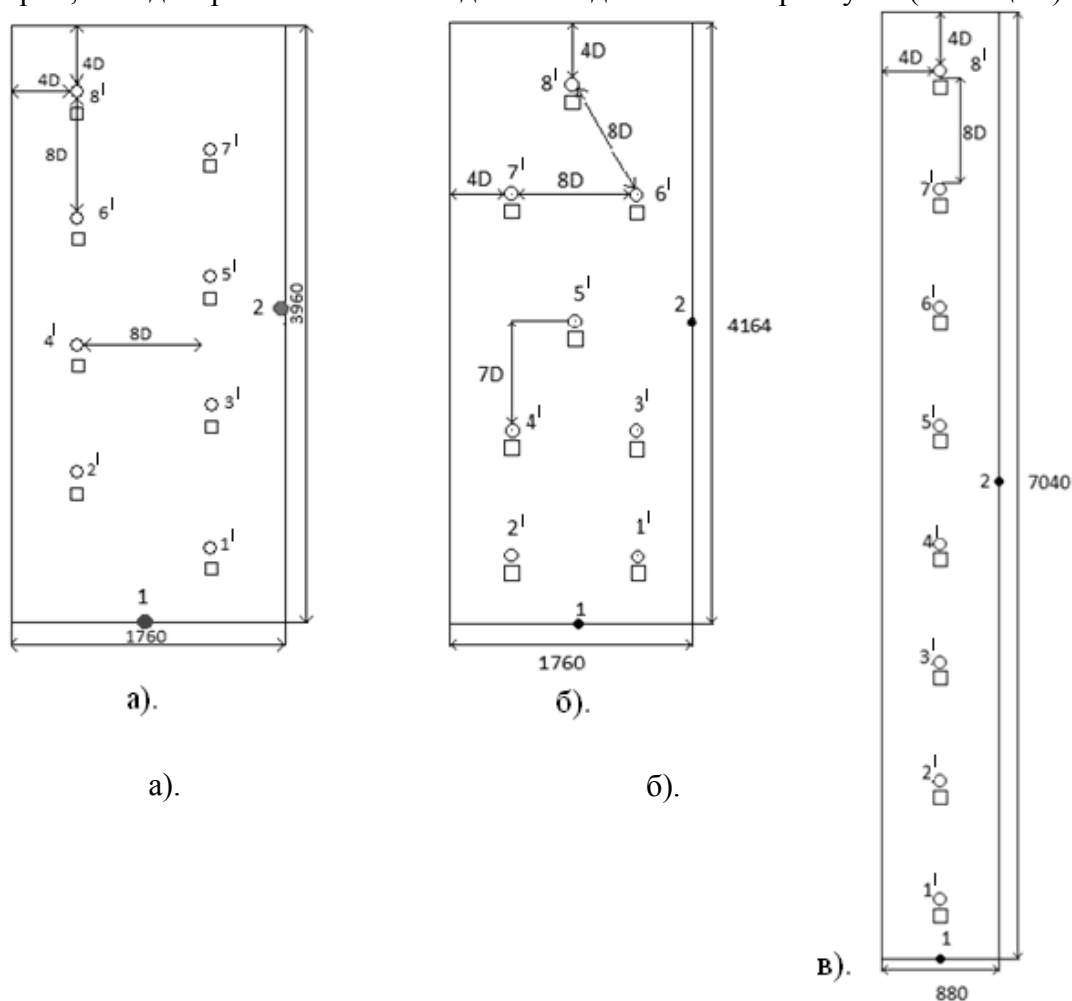


Рис. 1. Расположение ветроустановок на площадке:
а – шахматное расположение; б – круговое расположение;
в – расположение в ряд

Таблица 2

Расстояние от каждой ВЭУ или трансформатора до точки замера

Источник шума	№ точки	Расстояние от точки замера до каждой ВЭУ или трансформатора, м							
		1	2	3	4	5	6	7	8
ВЭУ	1	622	984	1392	1814	2244	2676	3111	3548
	2	1602	1718	793	1338	492	1476	1185	2028
Трансформаторы	1	605	961	1368	1790	2220	2652	3086	3523
	2	2048	1734	1487	1343	1334	1465	1702	2009

Посчитаем уровень шумового воздействия от каждой ВЭУ в требуемой точке по формуле (1), если уровень звуковой мощности трансформатора 76 дБ, ВЭУ – 107,5 дБ. Результаты представлены на рис. 2 и 3.

Полученные значения используем для определения суммарного уровня шума от всех ВЭУ в точках измерения с помощью формулы (2), а также таблицы 2. Согласно методике последовательно определяем суммарный уровень шумового воздействия. Для ВЭУ он составил 50 дБ в первой точке и 52 дБ во второй. Для трансформаторов 18 дБ в первой точке и 16 дБ во второй.

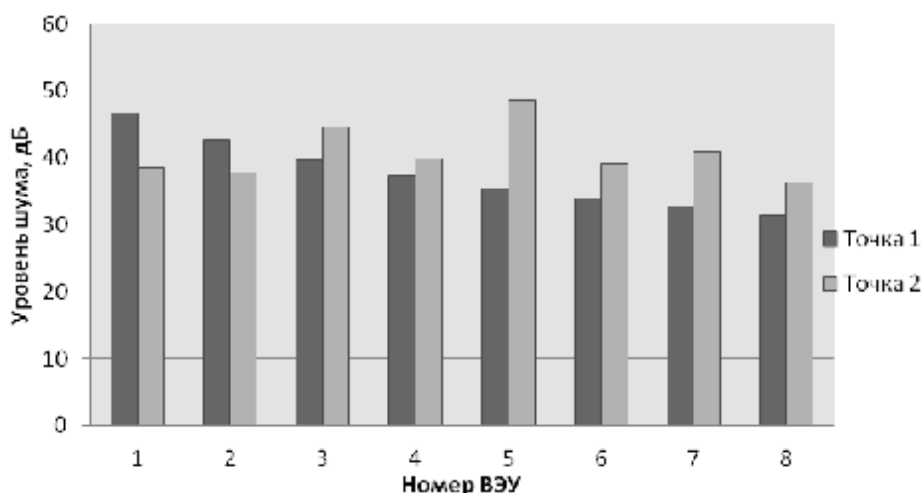


Рис. 2. Уровень шума от каждой ВЭУ в точке замера

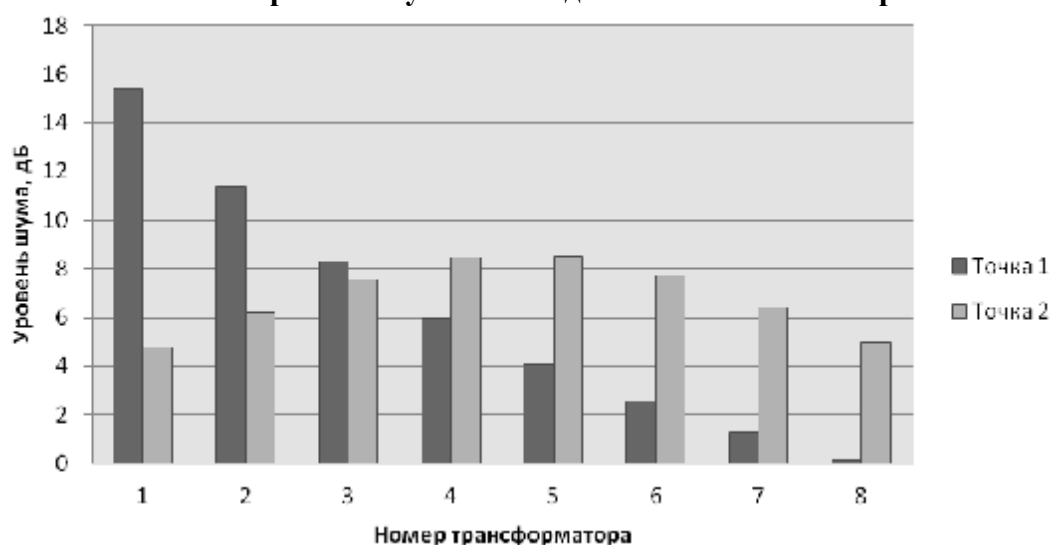


Рис. 3. Уровень шума от трансформаторов в точке замера

Полученные значения шумового воздействия удовлетворяют условиям строительных норм и правил СНиП II-12-77 «Защита от шума». Снижение уровня шума для комфортного проживания граждан вблизи территории ветроэлектростанции не требуется.

Проведём аналогичный расчет для того же ветрогенератора, но при другом расположении ВЭУ (рис 1, б). В этом случае размеры занимаемой территории составили 1760 × 4164 м.

Для возможности сравнения с шахматным расположением на рис. 4 приведены значения уровня шума от каждой ВЭУ.

Суммарный уровень шума в первой точке составил – 51 дБ, для второй – 50 дБ. Для трансформаторов уровень шума составил: в первой точке – 20 дБ, во второй – 18 дБ.

Аналогичный расчет проведём для тех же ветрогенераторов, расположенных в последовательном порядке (рис. 1, в). В этом случае размеры территории составили 880 × 7040 м.

Суммарный уровень шума и в первой, и во второй точке составил 51 дБ. Для трансформаторов уровень шума составил: в первой точке – 19 дБ, во второй – 20 дБ.

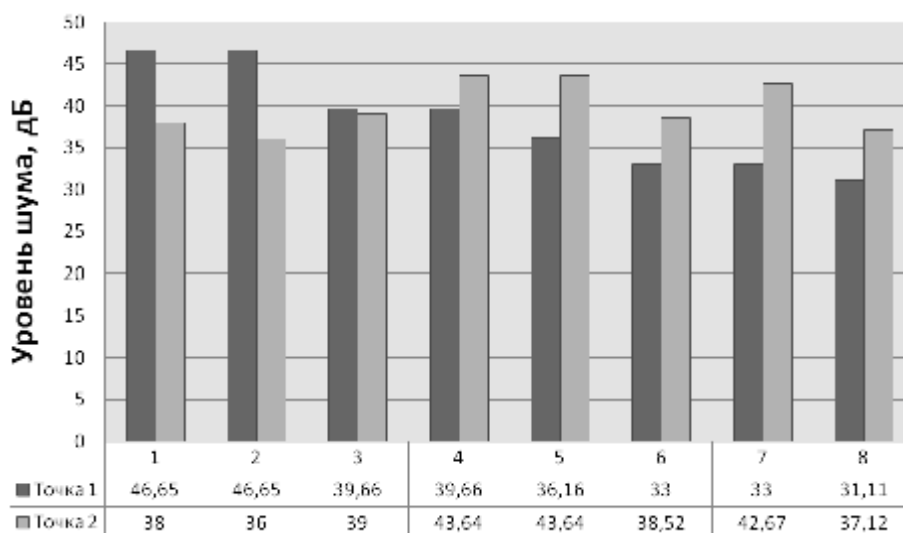


Рис. 4. Уровень шума от каждой ВЭУ в точке замера при круговом расположении

Проведём расчеты шумового воздействия для турбины Gamesa G87-2.0 MW при тех же способах размещения ВЭУ и Gamesa V52-850 kW, но только для одного случая. На основании полученных данных построены графики сравнения уровня шума для всех рассмотренных типов ВЭУ при их различном расположении (рис. 5 и 6).

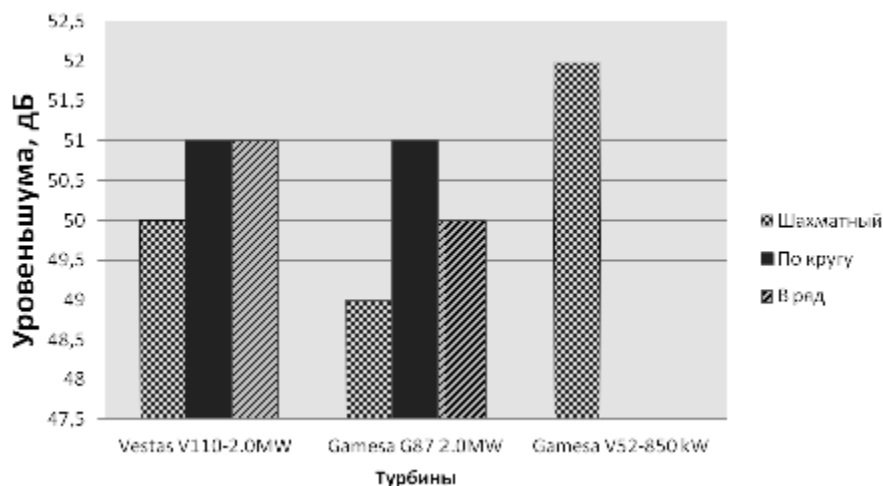


Рис. 5. Сравнение уровня шума для различных типов ВЭУ для первой точки

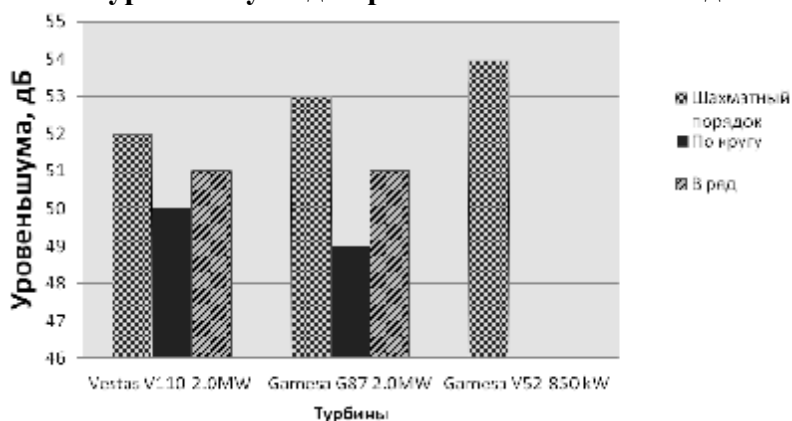


Рис. 6. Сравнение уровня шума для различных типов ВЭУ для второй точки

Можно сделать вывод, что уровень шума от всех ВЭУ при различном их расположении незначительно отличается друг от друга. Из графиков видно что, турбины Gamesa G87-2.0 MW имеют наименьшее звуковое воздействие на окружающую среду при их расположении по кругу. Но при этом следует обратить внимание на площадь занимаемой территории (рис. 7). Она будет наименьшей при использовании шахматного порядка.

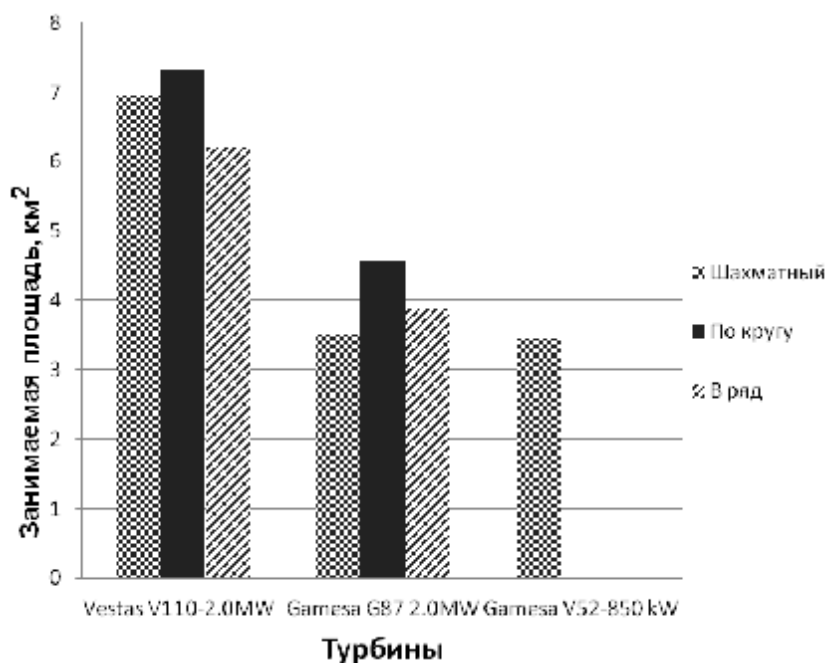


Рис. 7. Сравнение занимаемых площадей при различном расположении ВЭУ

Выводы

Проведены расчеты уровня шума для ВЭС мощностью до 16 МВт. Результаты показывают, что его значение будет наименьшим при расположении ВЭУ по кругу. Например, для Gamesa G87-2.0 MW в первой точке замера – 51 дБ, а во второй – 49 дБ. Площадь ВЭС будет наименьшей при их шахматном размещении $3,52 \text{ км}^2$, то есть, в 1,3 раза меньше, чем при размещении по кругу. Аналогичные зависимости будут наблюдаться для других ветрогенераторов. Если суммарный уровень шума меньше, чем верхний допустимый предел, указываемый в нормативных документах, то руководствоваться при проектировании можно именно занимаемыми площадями и рельефом местности, скоростями ветра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соснина Е.Н. Оценка шумового воздействия трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ на окружающую среду / Е.Н. Соснина, О.В. Маслеева. – Нижний Новгород, Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. 2012. – № 4(97), – С. 237-241.
2. Ананьев В.А. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика / Ананьев В.А., Балужева Л.Н., Гальперин А.Д., Городов А.К., Еремин М.Ю., Звягинцева С.М., Мурашко В.П., Седых И.В. – Евроклимат, 2001. – 416 с.
3. СНиП II-12-77. Часть 2. Нормы проектирования. Защита от шума. – М.: Госстрой СССР, 1977. – 73 с.
4. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Основні вимоги до будівель і споруд захист від шуму: ДБН В.1.2-10-2008. – [Чинний від 2008-10-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 11 с. – (Державні будівельні норми України).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА ГАЗА ОТ РАЗЛИЧНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ И БЫТОВЫХ ОБЪЕКТОВ

Дихтярь Т.В.

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

Определены количества газа, удаляемого в дегазаторе в зависимости от разности концентраций удаляемого газа в воде и воздухе. В результате исследований получены зависимости, позволяющие объяснить механизм передачи вещества между жидкой и газообразной фазами в процессе десорбции, которые позволяют из величин, входящих в общее уравнение десорбции, определить необходимую поверхность соприкосновения жидкой и газообразной фаз для обеспечения заданного эффекта дегазации, а, следовательно, и размер проектируемых аппаратов.

Жидкая фаза, газообразная фаза, дегазатор, концентрация газа, коэффициент диффузии, поверхность раздела фаз.

ВВЕДЕНИЕ

Дегазационные установки применяются для удаления растворенных газов из сточных вод. Наличие газов затрудняет очистку и использование сточных вод, вызывает или усиливает коррозию конструкционных материалов трубопроводов и сооружений, а также придает сточным водам неприятный запах. При дегазации чаще всего из сточных вод удаляются кислые (CO_2 , H_2S , SO_2 , SO_3 , NO_2) или щелочные (NH_3 , CH_3 , NH_2) газы.

Принудительная дегазация сточных вод производится в аппаратах трех основных видов: посадочных, барботажных и вакуумных. Эффективность дегазации зависит от вида сточных вод и характера содержащихся в них загрязнений.

Обычно из воды приходится удалять углекислоту, сероводород, кислород и реже метан. Первые три коррозионно-активных газа обуславливают либо катализируют процессы коррозии металла, а диоксид углерода(IV) вызывает коррозию бетона. Метан, выделяющийся из воды в процессе ее обработки, образует с воздухом в помещении водоочистного комплекса взрывоопасную смесь, а сероводород придает воде неприятный запах. Кроме того, при водород-катионитовом умягчении и ионитовом обессоливании воды, а также при обезжелезивании и деманганации подземных бикарбонатных вод, приходится решать задачу удаления свободной углекислоты. При подготовке питательной воды, а также воды теплоцентралей, необходимо удалять из нее кислород в целях предотвращения коррозии металла. Отсюда становится очевидной необходимость возможно полного удаления из воды растворенных в ней газов.

Анализ публикаций

Дегазацию сточных вод осуществляют химическими (с применением реагентов) или физико-химическими методами (нагреванием и вакуумированием) и продувкой воздухом - аэрацией. Кроме того, для извлечения сероводорода используется биохимический метод, основанный на окислительной способности микроорганизмов. Сущность химически методов заключается в использовании определенных реагентов, которые связывают растворенные в воде газы.

Сущность физических методов дегазации заключается в следующем: вода, содержащая удаляемый газ, приводится в соприкосновение с воздухом, если парциальное давление этого газа в воздухе близко к нулю; создаются условия, при которых растворимость газа в воде становится ничтожно малой. С помощью первого приема, аэрации воды, обычно удаляют свободную углекислоту и сероводород. Ко второму приему обычно прибегают при извлечении кислорода из воды. В этом случае, ввиду значительного парциального давления кислорода в атмосферном воздухе, аэрацией воды кислород удалить нельзя, поэтому воду доводят до кипения, тогда растворимость всех газов в ней падает до нуля. Для этого применяют либо нагревание воды, либо понижение

давления до величины, при которой вода кипит без дополнительного подогрева, поскольку парциальное давление этих газов в атмосферном воздухе близко к давлению в вакуумных дегазаторах.

Двухфазные потоки представляют собой неоднородные системы с поверхностью раздела фаз, именуемой для систем газ–жидкость, пар–жидкость и жидкость–жидкость свободной поверхностью. Решающее влияние оказывает взаимодействие между фазами. В отличие от однофазных потоков на границе раздела двухфазных потоков проявляются принципиально новые силы – силы межфазного поверхностного натяжения. Эти силы производят работу образования поверхности жидкости на границе ее раздела. Работа, затрачиваемая на образование 1 см² поверхности, называется поверхностным натяжением.

При рассмотрении потока в целом, необходимо выделить в нем два основных направления: вдоль него и поперек.

Продольное направление соответствует движению потока. Именно в этом направлении осуществляется основной конвективный перенос. Однако в процессах массообмена вещество переходит из фазы в фазу в направлении, поперечном движению фаз. При этом турбулентное перемешивание выравнивает концентрации по поперечному сечению – в этом случае говорят о гораздо большей величине, чем молекулярная диффузия – турбулентной диффузии – $D_{\text{турб}}$, но дойти до стенки частица не может, так как около нее образуется тонкий пограничный слой. В пограничном слое перенос осуществляется преимущественно молекулярной диффузией. Поэтому в условиях пограничного слоя в уравнение:

$$q_m = -D \cdot \text{grad}C$$

входит коэффициент молекулярной диффузии D .

Резкое уменьшение коэффициента диффузии, из-за перехода от конвективного переноса к молекулярному, приводит к резкому возрастанию градиента концентрации. Профиль концентрации в турбулентном потоке в целом можно описать так: в ядре потока концентрация выровнена турбулентным перемешиванием; в пограничном слое она резко падает.

Таким образом, скорость массопередачи связана с механизмом переноса распределяемого вещества в фазах, между которыми происходит массобмен. Вещество в фазах может переноситься молекулярной диффузией либо путем конвекции и молекулярной диффузией одновременно.

В настоящее время наиболее распространенной теорией, объясняющей механизм передачи вещества между жидкой и газообразной фазами в процессе десорбции, является теория двухслойного поглощения, согласно которой десорбция сводится к последовательной диффузии удаляемого газа через два пограничных слоя — жидкостный и газовый (рис. 1).

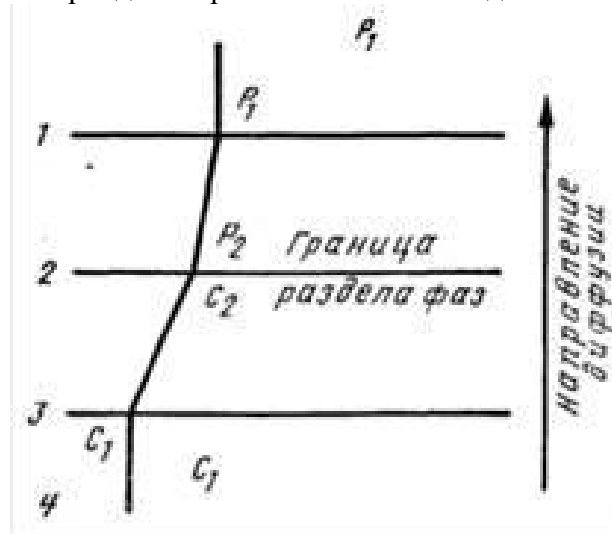


Рис.1. Схема изменения давлений и концентраций газа на границе раздела фаз: 1,4 — газообразная и жидкостная фазы; 2, 3 — газовая и жидкостная диффузионная пленка

При диффузии газа из жидкой фазы в газообразную концентрация его и парциальное давление изменяются в диффузионных пленках. Концентрация газа в жидкой фазе равна концентрации его на границе между жидкостной пленкой и основной массой жидкости; в жидкостной пленке происходит снижение концентрации от величины C_1 до C_2 , отвечающей парциальному давлению p_2 диффундирующего газа на границе раздела фаз; в газовой пленке парциальное давление диффундирующего газа изменяется от величины p_2 до величины p_1 имеющей место на границе газовой пленки и основной массы газа, в которой парциальное давление диффундирующего газа также равно величине p_1 .

По теории двухслойного поглощения, общее сопротивление десорбции R равно сумме сопротивлений, оказываемых пограничными диффузионными слоями:

$$R = R_1 + R_2, \quad (1)$$

где R_1 — сопротивление жидкостного пограничного слоя;

R_2 — сопротивление газового пограничного слоя.

Удаление газов из сточных вод аэрацией возможно в том случае, если парциальное давление удаляемого газа в воздухе меньше парциального давления над поверхностью воды.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью настоящей работы является определение количества газа, удаляемого в дегазаторе в зависимости от разности концентраций удаляемого газа в воде и воздухе. Для достижения поставленной цели были исследованы процессы массообмена в двухфазных потоках

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Расчет процесса деаэрации как процесса массопередачи следует выполнять по уравнению массопередачи [1]:

$$G = K \Delta C F, \quad (2)$$

где G - количество газа, удаляемого в деаэраторе, кг/с;

K - коэффициент массопередачи, м/с;

ΔC – разница концентраций газа, кг/м³;

F - поверхность контакта воды и газа, м².

Коэффициент массопередачи можно определить по формуле, м/с [2]:

$$K = 2 \sqrt{\frac{Dv}{\pi d^3}} \quad (3)$$

здесь D - коэффициент диффузии газа в воде, м²/с;

v - скорость всплытия пузырьков газа, м/с;

$d=10^{-7}$ м – диаметр пузырьков газа, м.

Скорость всплытия пузырьков определяется из выражения [3]:

$$v = \frac{g d^2 (1 - \rho_g / \rho)}{18 \nu}, \quad (4)$$

где ρ_g — плотность газа, кг/м³;

ρ — плотность воды, кг/м³;

ν — коэффициент кинематической вязкости воды, м²/с.

Скорость удаления газов при прочих равных условиях зависит от коэффициента диффузии [4]:

$$D = D_{20} [1 + 0,02(t - 20)], \quad (5)$$

Коэффициент диффузии не является постоянной величиной; численные значения его обычно берут из справочников.

Коэффициент диффузии зависит, прежде всего, от природы вещества и агрегатного состояния систем; так, коэффициент диффузии для газов примерно на четыре порядка

выше, чем для жидкостей. Коэффициент диффузии увеличивается с ростом температуры и уменьшается с повышением давления.

Согласно теории двухслойного поглощения, количество десорбируемого газа [5]:

$$G = K_0 F \Delta C_{cp} \quad (6)$$

где K_0 — общий коэффициент десорбции, м/с;

F — площадь соприкосновения жидкой и газообразной фаз, м²;

ΔC_{cp} — средняя движущая сила процесса десорбции, кг/м³.

Движущая сила массообменных процессов есть разность между рабочими и равновесными концентрациями. Движущая сила характеризует степень отклонения системы от равновесия. При установлении равновесия между фазами массообмен между ними прекращается.

Чтобы выделение из воды газов шло достаточно быстро и была достигнута глубокая дегазация требуются соответствующие условия.

В вакуумном деаэраторе большая часть газов выделяется из воды в виде пузырьков, которые выходят на поверхность воды. Меньшая, остаточная часть газов выделяется путем диффузии. Диффузия газа идет от внутренних слоев воды, где концентрация растворенных газов больше, к наружным, где концентрация меньше. Затем газы через поверхностную пленку переходят в пар. Скорость диффузии зависит от физических параметров воды: вязкости, поверхностного натяжения и от степени дробления воды. С уменьшением вязкости и поверхностного натяжения, и особенно с увеличением степени дробления воды скорость диффузии увеличивается. Вязкость и поверхностное натяжение, замедляющие диффузию, с повышением температуры уменьшаются. Поэтому при высокой температуре диффузионный процесс протекает быстрее.

Дробление воды уменьшает путь прохождения газа в воде и ускоряет его выход из нее благодаря увеличению поверхности контакта воды с паром.

В деаэраторе 90-95 % кислорода выделяется из воды в виде пузырьков, остальные 5-10 % кислорода выделяются путем диффузии. Выделение пузырьков происходит сравнительно быстро. Диффузионный процесс протекает медленно. Выделение кислорода и других газов из воды в деаэраторе происходит на всем пути движения воды.

Поступление воды в вакуумный деаэратор сопровождается резким падением общего и парциального давлений газов. Вода становится пресыщенным газовым раствором. В этот начальный период происходит энергичное выделение пузырьков газа из воды. Особенно бурно идет выделение газов при поступлении в деаэратор перегретой воды. Далее при движении воды в деаэраторе перенасыщение значительно уменьшается, выделение газов замедляется и идет в основном путем диффузии.

На входе воды в вакуумный деаэратор концентрация газов в воде падает быстро, затем по мере движения воды в деаэраторе их концентрация медленно снижается [1]. Такой характер изменения концентрации газов определяется изменением движущей силы процесса дегазации воды.

Изменения температуры воды и парциальных давлений газов в парогазовой смеси над водой или изменение одного из этих параметров влекут за собой изменение концентрации растворенных газов в воде. В результате нагрева или снижения давления концентрация газа в воде уменьшается. Движущей силой процесса выделения газа из воды является разность между фактической концентрацией газа в воде C_1 и той его концентрацией C_p , которая должна соответствовать температуре воды и парциальному давлению газа над водой в данный момент времени в определенном месте деаэратора:

$$\Delta C = C_1 - C_p \quad (7)$$

Чем больше ΔC , тем интенсивнее, быстрее протекает процесс дегазации.

Основное расчетное уравнение аппаратов для извлечения из воды растворенных газов десорбцией записывается в следующем виде [1]:

$$F = \frac{G}{K_G \Delta C_{cp}}, \quad (8)$$

$$G = 0,001Q(C_{вх} - C_{вых}), \quad (9)$$

где Q — производительность аппарата, м³/с.

Движущая сила изменяется с изменением рабочей концентрации. Поэтому для всего процесса (или для всей поверхности массопередачи) должна быть найдена средняя движущая сила.

Средняя движущая сила процесса десорбции [6]:

$$\Delta C_{cp} = \frac{C_{вх} - C_{вых}}{2,3 \lg \frac{C_{вх}}{C_{вых}}}, \quad (10)$$

где $C_{вх}$ и $C_{вых}$ — концентрации удаляемого газа в воде соответственно на входе ее в аппарат и на выходе из него.

Таким образом, величина ΔC_{cp} зависит от разности концентраций удаляемого газа в воде и воздухе.

ΔC изменяется по высоте деаэрационной колонки. В верхней части колонки ΔC имеет наибольшее значения, в нижней - наименьшее.

Следовательно, после преобразований получим

$$F = \frac{0,001Q(C_{вх} - C_{вых})}{K_G \Delta C_{cp}} \quad (11)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

В результате исследований получены зависимости, позволяющие объяснить механизм передачи вещества между жидкой и газообразной фазами в процессе десорбции.

Из величин, входящих в общее уравнение десорбции, G и ΔC_{cp} , могут быть подсчитаны по заданным условиям работы дегазатора. Это уравнение является основным для расчета десорбционных аппаратов. Из него находят необходимую поверхность соприкосновения жидкой и газообразной фаз для обеспечения заданного эффекта дегазации, а, следовательно, и размер проектируемых аппаратов.

ВЫВОД

Определено количество газа, удаляемого в деаэраторе с учетом изменения концентрации газа в воде и воздухе, что также позволит определить размеры деаэрационной колонки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вакуумные деаэраторы / [Труб И.А., Литвин О.П.]. - М.: Энергия, 1967. – 100 с.
2. Моделирование аэрационных сооружений для очистки сточных вод / [Брагинский Л.Н., Евилевич М.А., Бегачев В.И. и др.]. – Л.: Химия, 1982. – 48 с.
3. Кафаров В.В. Основы массопередачи / Кафаров В.В. - М.: Высшая школа, 1962. - 439 с.
4. Улучшение качества мягких вод / [Алексеев Л.С., Гладков В.А.]. - М.: Стройиздат, 1994. – 152 с.
5. Тимонин А.С. Инженерно-экологический справочник. Т. 2 / Тимонин А.С. — Калуга: Издательство Н. Бочкаревой, 2003. - 884 с.
6. Клячко В.А. Очистка природных вод / В.А. Клячко, И.Э. Апельцин. - М.: Стройиздат, 1971. - 356 с.

ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОТИ ФАЗОВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ДЛЯ СЕЗОННОГО АКУМУЛЮВАННЯ У ГЕЛІОСИСТЕМАХ

Климчук О.А., Омеко Р.В., Роговенко О.А.

Одеський національний політехнічний університет, Україна

Розглянуто доцільність використання теплоакumuлюючих матеріалів на основі фазових переходів для сезонного акумулювання тепла геліосистем. Проведено порівняльний аналіз різних теплоакumuлюючих матеріалів. По матеріалам дослідження зроблено висновок, що найбільш доцільним є використання глауберової солі в якості теплоакumuлюючого матеріала. Однак необхідно враховувати його низьку температуру плавлення, що потребує додаткового обладнання для підвищення температури теплоносія.

Акумулятори тепла, теплота фазового перетворення, сезонне акумулювання.

ВСТУП

Найважливішою проблемою сучасної енергетики є проблема акумуляції, яка обумовлена неефективним використанням енергії в період недовантаження енергосистем. До перспективних способів акумуляції сонячної енергії відноситься теплова акумуляція на основі фазових переходів різних матеріалів, що інтенсивно розробляються в даний час.

Їх використовують в приладобудуванні для відведення тепла при великих навантаженнях, для захисту електронних приладів від перегріву, для стабілізації температур в приміщенні. У теплоенергетиці вони служать для раціонального використання теплової енергії і акумуляції сонячного тепла, для згладжування добових і сезонних піків вжитку енергії, зниження енергетичних витрат. Ефективність цього способу обумовлена тим, що для багатьох речовин значення ентальпії фазового переходу значно вище тепловмісту за рахунок теплоємності. Однак вартість теплоакumuлюючих матеріалів значна у порівнянні з водою (найдоступніший акумулюючий матеріал).

МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є визначення доцільності використання теплоакumuлюючих матеріалів для сезонного акумулювання навчальних корпусів університету.

ОГЛЯД ТЕПЛОАКУМУЛЮЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ

Можливість акумулювання теплоти заснована на використанні фізичного або хімічного процесу, пов'язаного із поглинанням та виділенням теплоти. До основних таких процесів відносяться:

- накопичення – виділення внутрішньої енергії при нагріві – охолодженні твердих, або рідких тіл;
- фазові переходи із поглинанням – виділенням скритої теплоти;
- процеси сорбції – десорбції;
- зворотня хімічна реакція, що протікає із виділенням – поглинанням теплоти.

На сьогоднішня відома велика кількість видів та конструкцій теплових акумуляторів. Цей факт обумовлено широким спектром задач та областей застосування акумуляторів тепла. Багатство методів та способів акумулювання теплової енергії ведуть до різноманітних технічних та конструктивних рішень, та потребує деякої класифікації.

По технологічним процесам можна виділити наступні види акумуляторів теплоти:

- рідинні акумулятори теплоти;
- теплові акумулятори із твердим теплоакumuлюючим матеріалом;
- теплові акумулятори із рідким та твердим теплоакumuлюючим матеріалом;
- парові акумулятори теплоти;
- акумулятори тепла основані на фазовому перетворенні;
- термохімічні акумулятори теплоти;
- акумулятори теплоти, що використовують ґрунт;

- акумулятори теплоти, що використовують надлишковий тиск;
- акумулятори теплоти, що використовують теплоту підземних пустот.
- акумулятори теплоти, що використовують механічну енергію.

По галузі застосування акумулятори теплоти розділяються по видам:

- системи промислового холодопостачання;
- системи кондиціонування;
- системи теплопостачання;
- системи промислового енергопостачання.

За часовим фактором використання акумулятори теплоти розділяються на типи:

- коротко часового пікового використання;
- використання впродовж доби;
- застосування на період тижневого використання;
- сезонного застосування.

За робочими температурними режимами акумулятори теплоти можна поділити на типи:

- наднизьких температур (менше «- 40» °C);
- низьких температур (від -40 до + 10 °C);
- середніх температур (від +20 до + 200 °C);
- високих температур (від +200 до + 500 °C);
- надвисоких температур (більш ніж 500 °C).

За видами джерел енергії акумулятори тепла можна поділити на види:

- природні поновлювальні джерела теплоти;
- поновлювальні антропогенні джерела теплоти;
- промислові джерела теплоти;
- енергетичні джерела теплоти.

Також акумулятори теплоти можна класифікувати за додатковими ознаками, наприклад теплозахист будівель та споруд:

- системи теплозахисту;
- системи термо стабілізації;
- системи зберігання.

В системах теплозахисту енергія акумулюється для подальшого використання. Прикладом може бути стінові панелі будівлі, що складаються із суміші бетону та парафіну (або із включенням у склад бетону невеликих капсул, що вміщують теплоакumuлюючий матеріал). Такі панелі здатні поглинати надлишкове тепло у день та віддавати його в ночі.

Системи термостабілізації призначені для сприйняття надлишкової теплоти від зовнішніх джерел та скидання отриманого тепла у навколишнє середовище.

В якості теплоакumuлюючого матеріалу для фазового переходу можуть бути використані: кристалогідрати (в основному глауберова сіль), природний віск, парафіни, вуглеводні граничного ряду, насичені жири органічних кислот [1,2]. При порівнянні теплоакumuлюючих матеріалів фазового переходу найважливішими показниками є теплота фазового переходу, що зумовлює щільність енергії, що запасасться і температура фазового переходу, від якої залежить сфера застосування даного теплоакumuлюючого матеріалу. Теплоакumuлюючі матеріали на основі твердих парафінів, церезинів є інертними та витримують значну кількість циклів плавління-кристалізація без зміни теплофізичних властивостей.

Властивості теплоакumuлюючого матеріалу і вимоги до них (наведено в табл.1):

- а) температура фазового переходу має бути зв'язана з робочими параметрами теплоносія в режимах зарядки і розрядки, такими, наприклад, як температура на вході, витрата, теплоємність і т.д.;
- б) теплоакumuлюючий матеріал повинен мати можливо вище значення питомої ентальпії фазового переходу;

- в) а також мати низький коефіцієнт об'ємного розширення і по можливості меншу різницю густини рідкої і твердої фаз;
- г) теплоакumuлюючий матеріал має бути хімічно сумісним з конструкційними матеріалами;
- д) мати стабільність складу і теплофізичних властивостей при експлуатації АФП.
- е) має бути доступним і мати низьку вартість;
- ж) крім того, у вибраному теплоакumuлюючому матеріалі має бути відсутнім або мало проявляти себе ефект переохолодження при твердінні.

Для здійснення ефективного процесу акумуляції, збереження і передачі тепла необхідно, щоб конструкція акумулятора тепла була оптимальною з точки зору теплообміну. На процес зарядки акумулятора в основному впливають товщина акумулюючих блоків і розташування нагрівальних елементів.

Таблиця.1

Властивості теплоакumuлюючого матеріалу фазового переходу

Речовина	Густина, $\frac{кг}{м^3}$	Температура плавління, °С	Теплота плавління $\frac{кДж}{кг}$	Об'ємна теплоємність, МДж/м ³ К
Міристинова кислота,	962,2	58	203,6	195,9
Парафін високоплавкий, С ₃₂	781,4	73	212,0	165,7
Парафін, С ₂₄	778,6	51,1	141,2	110,0
Дифинил	1180	70,5	121,5	141,4
Вода	980	0	335,0	307
Глауберова сіль	1554	32	251,4	390,8

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ АКУМУЛЯТОРІВ ТЕПЛА

Застосування конкретного типу акумулятора залежить від умов використання. Основними критеріями для вибору акумулюючого матеріалу являються діапазон робочих температур, акумуляційна здатність, доступність та безпечність використання.

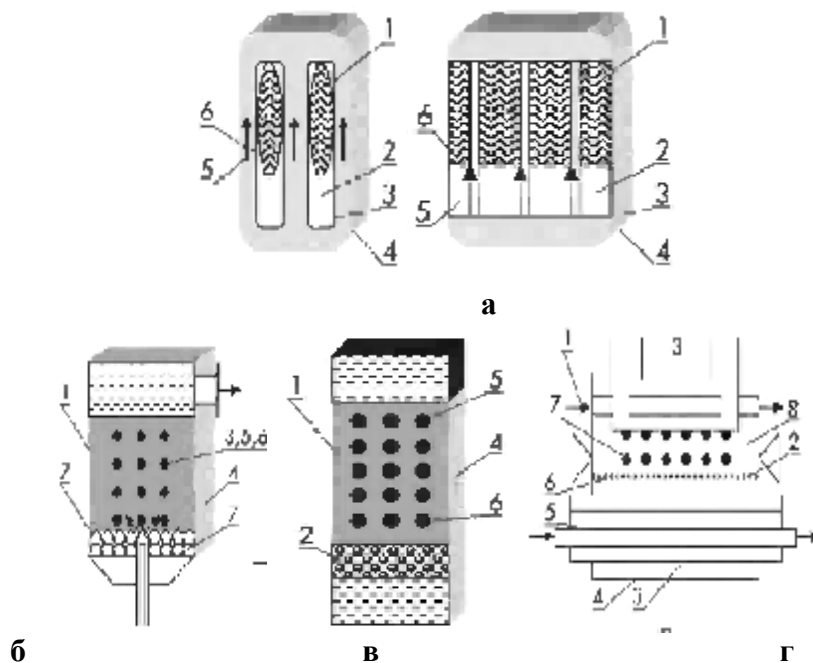


Рис.1. Основні конструкції акумуляторів тепла на основі фазових перетворень: а – капсульний та кожухотрубний, б, в — з прямим контактом та прокачуванням теплоакumuлюючого матеріалу, г— із ультразвуковим видаленням теплоакumuлюючого матеріалу

Одним із поширених є капсульний акумулятор. Розміщення теплоакumuлюючого матеріалу в капсулах, рис. 1 (а), забезпечує високу надійність конструкції, дозволяє створювати розвинену поверхню теплообміну, компенсувати (при використанні гнучких капсул) зміни об'єму в процесі фазових переходів. Проте унаслідок низької теплопровідності теплоакumuлюючого матеріалу необхідне велике число капсул малого розміру, що приводить до великої трудомісткості виготовлення теплоакumuлюючого матеріалу, недостатньо раціональному використанню об'єму (для циліндрових капсул) зміни об'єму в процесі фазових переходів, малій жорсткості конструкції (для плоских капсул). Особливо доцільне використання капсульних ТА у випадках малих теплових потоків з теплообмінної поверхні.

РОЗРАХУНОК ТЕОРЕТИЧНОЇ КІЛЬКОСТІ ТЕПЛОАКУМУЛЮЮЧОГО МАТЕРІАЛУ ДЛЯ НАВЧАЛЬНОГО КОРПУСУ

Для розрахунку обрано теплотехнічну лабораторію Одеського національного політехнічного університету.

Розрахунок кількості теплоакumuлюючого матеріалу необхідного для акумулювання сонячної енергії за сезон травень-вересень [3].

Кількість тепла що може бути отримана від сонячної енергії дорівнює:

$$Q=249 \text{ ГДж/сез} = 249000000 \text{ кДж/сез} [3].$$

Теоретично необхідна маса теплоакumuлюючого матеріалу може бути розрахована за формулою:

$$M = \frac{Q}{r}$$

де Q – кількість теплоти (сезон травень - вересень), кДж;

r – теплота плавлення матеріалу, кДж/кг.

У результаті проведення розрахунків отримаємо, що для акумулювання даної кількості тепла необхідно: 1222 т. міристинової кислоти, 1174т. парафіну C₃₂, 1763 т. парафіну C₂₄, 2049т. дифинилу, 990т. глауберової солі. Для порівняння для акумуляції даної кількості тепла необхідно 2971 т води.

ВИСНОВКИ

По матеріалам дослідження можна зробити висновок найбільш доцільним є використання глауберової солі в якості теплоакumuлюючого матеріалу. Однак необхідно враховувати низьку температуру плавлення, що потребує додаткового обладнання для підвищення температури теплоносія (наприклад тепловий насос).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Толмачев, Д. В. Роль и перспектива отдельных энергоносителей в энергетике Украины [Текст] / Д. В. Толмачев // «Экономист». – 2000. - №7 – С. 37-39.
2. Г.Бекман, П.Гилли. Тепловое аккумуляирование энергии. Москва, 1987, - 468 с.
3. О.М. Шраменко. «Акумуляційні системи тепlopостачання». Дипломна робота магістра. :ОНПУ, - Одеса, 2012 р., - 168 с.

ОЦІНКА СУМАРНОГО КОЕФІЦІЄНТА ТЕПЛОВТРАТ ТЕРМОСИФОННОГО СОНЯЧНОГО КОЛЕКТОРА

Желих В.М., Лесик Х.Р., Кудь О. І.

Національний університет «Львівська політехніка»

Розглянуто теплові процеси, що відбуваються в плоских сонячних повітрянагрівачах. Приведено способи зменшення втрат теплоти в плоских сонячних колекторах. Уточнено методику визначення теплових характеристик пасивного сонячного повітрянагрівача. Визначено теплову потужність та ексергетичний коефіцієнт запропонованого термосифонного геліоколектора. Співставлено отримані результати дослідного повітрянагрівача з характеристиками відомих конструкцій. Результати обчислень представлені у графічному вигляді.

Термосифонний сонячний колектор, коефіцієнт тепловтрат, теплопоглинаюча пластина, тепла ізоляція, пасивна система.

ВСТУП

Повітряні геліоколектори представляють собою прості плоскі конструкції, які використовують для обігрівання приміщень та сушіння сільськогосподарських продуктів. У таких повітрянагрівачах енергія Сонця переходить в теплову енергію й, таким чином, підвищує температуру поглинача випромінювання. В установках з сонячними колекторами втрати енергії обумовлені наступними причинами: оптичні втрати, тобто відбивання сонячного випромінювання, теплові втрати. На рис. 1 показана принципова схема теплового потоку через повітряний геліоколектор [1].

Для підвищення теплової потужності повітряних геліоколекторів широко використовують штучні нерівності поверхні теплопоглинаючої пластини, які дозволяють турбулізувати потік теплоносія.

Згідно з [1] повітряна сонячна система вважається ефективною, якщо коефіцієнт тепловтрат сонячного колектора не перевищує $2,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. Для зведення до мінімуму значення коефіцієнта тепловтрат сонячний колектор покривають склом із високим ступенем світло пропускання (коефіцієнт світло пропускання більше 92%) попередньо напруженим, безосколковим, низько армованим товщиною більше 4 мм, а також здійснюється теплоізоляція корпусу конструкції.

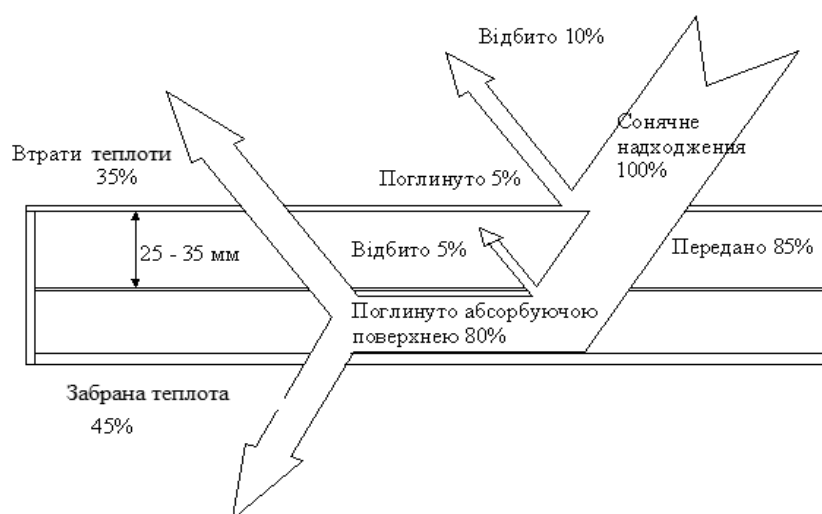


Рис. 1. Тепловий потік, що протікає через сонячний колектор

МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

В даній роботі було поставлене завдання визначити сумарний коефіцієнт тепловтрат та величину втрат тепла з поверхні термосифонного сонячного колектора, а також його

теплову потужність і коефіцієнт ексергії. Співставити теплотехнічні характеристики запропонованого термосифонного геліоколектора та відомих конструкцій сонячних повітрянагрівачів.

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводились в натурних умовах для м. Львова для термосифонного сонячного колектора (рис.2а,б). За допомогою термоанемометра АТТ-1004 вимірялися температура та швидкість повітря на вході та виході з термосифонного сонячного колектора, а також рухомість зовнішнього повітря. Для визначення температури теплопоглинаючої пластини геліоколектора використовувався пірметр марки Нимбус-530. Заміри інтенсивності сонячного випромінювання здійснювалося за допомогою альбедометра.

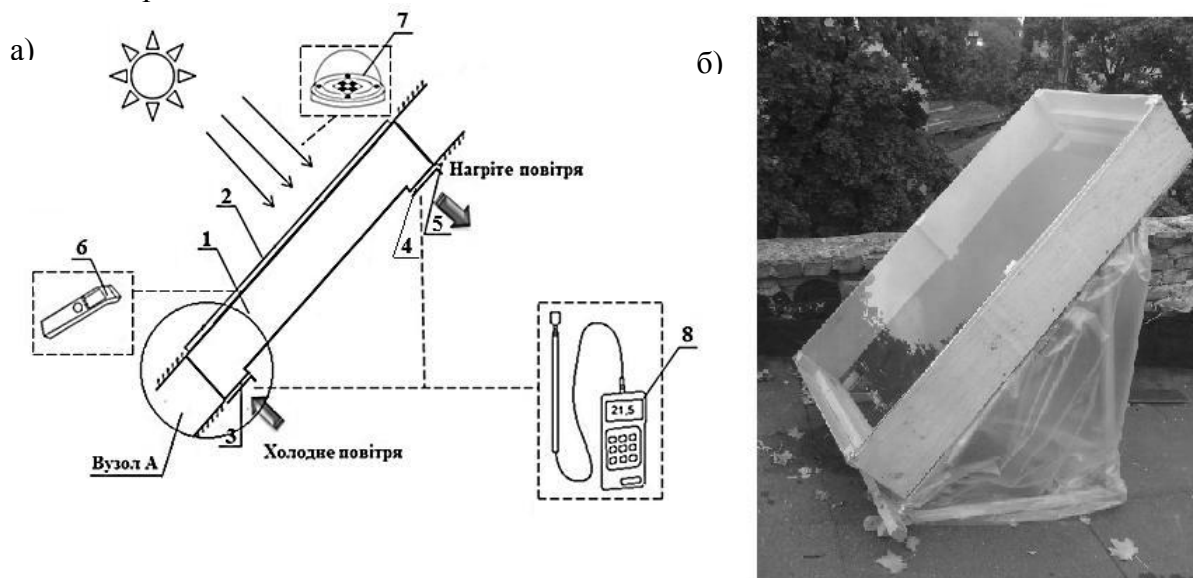


Рис.2. Дослідний термосифонний сонячний колектор: а) – схема експериментального стенду термосифонного геліоколектора; б) – термосифонний геліоколектор; 1 – корпус термосифонного геліоколектора; 2 – світлопроникне покриття; 3 – вхідний отвір; 4 – вихідний отвір; 5 – регулююча заслінка; 6 – пірметр Нимбус-530; 7 – альбедометр; 8 – термоанемометр АТТ-1004; 9 – теплопоглинаюча пластина; 10 – теплоізоляція корпусу геліоколектора; 11 – повітряний канал

Схема теплових потоків дослідного повітряного сонячного колектора, показана на рис. 3а. Пластина виготовлена з чорної пофарбованої оцинкованої листової сталі товщиною 2 мм, площа якої становить 1,2 м². Корпус колектора виконаний герметичним та теплоізолюваним. Покриттям колектора служить скляна пластина товщиною 4мм. Повітряний геліоколектор розташований під кутом 30° на південному фасаді будівлі. Теплоносій нагрівається від теплопоглинаючої пластини і під дією сил конвекції рухається в повітряному коридорі між абсорбуючою поверхнею та склом.

Теплопродуктивність сонячного колектора у значній мірі залежить від теплотехнічних характеристик абсорбера, а саме від кількості поглинутої сонячної енергії. Оскільки корпус геліоколектора герметичний та теплоізолюваний основні тепловтрати здійснюються через скляну поверхню. Еквівалентна теплова схема плоского повітрянагрівача показана на рис 3б [2].

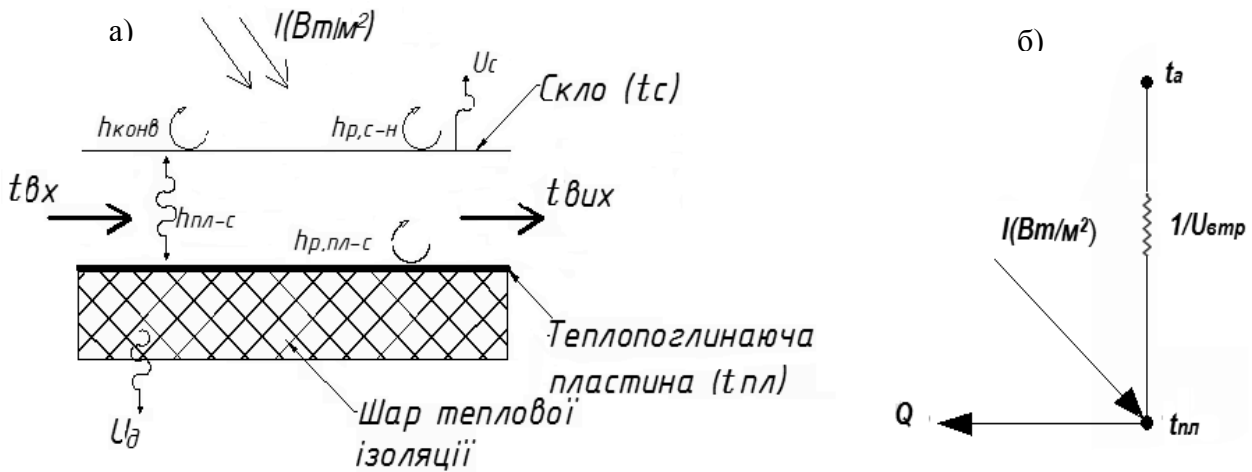


Рис. 3. Схема термосифонного сонячного колектора з одинарним скляним покриттям: а) схема теплових потоків термосифонного сонячного колектора; б) еквівалентна тепла схема повітряного сонячного колектора,

де $U_{\text{втр}}$ – сумарний коефіцієнт тепловтрат, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$; $U_c; U_d$ – коефіцієнт тепловтрат, відповідно, через скляну пластину та днище повітряного геліоколектора, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$; I – інтенсивність сонячного випромінювання, $\text{Вт}/\text{м}^2$; t_{nl}, t_c – температури, відповідно, теплопоглинаючої та скляної пластин, $^\circ\text{C}$; $t_{\text{вих}}, t_{\text{вх}}$ – відповідно, температура на виході та вході в сонячний колектор, $^\circ\text{C}$; h_{nl-c} – коефіцієнт конвективного теплообміну між пластиною та склом, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$; $h_{\text{конв}}$ – коефіцієнт тепловіддачі в навколишнє середовище, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$; $h_{p,nl-c}$; $h_{p,c-ам}$ – коефіцієнти теплообміну випромінюванням від пластини до скла та від скла до навколишнього середовища, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

Сумарний коефіцієнт тепловтрат сонячного колектора $U_{\text{втр}}$, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, розраховуються за формулою [2]:

$$U_{\text{втр}} = U_c + U_b + U_d, \quad (1)$$

де U_b – коефіцієнт тепловтрат через бокові поверхні повітряного геліоколектора, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Оскільки бокові поверхні сонячного колектора добре теплоізовані, значення U_b буде незначним, тому нехтуємо ним.

Коефіцієнт тепловтрат днища колектора U_d , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, буде рівним:

$$U_d = \frac{\lambda}{\delta}, \quad (2)$$

де λ, δ – відповідно, коефіцієнт теплопровідності, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ та товщина теплової ізоляції, м. В якості теплоізоляції обрано пінополістирол товщиною 0,03 м, для якого $\lambda = 0,045 \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Розрахунок коефіцієнта тепловтрат скляної пластини, U_c , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, проводиться методом ітерації. У випадку одинарного застосування формула має наступний вигляд:

$$U_c = \left[\frac{1}{h_{nl-c} + h_{p,nl-c}} + \frac{1}{h_{\text{конв}} + h_{p,c-ам}} \right]^{-1}, \quad (3)$$

Коефіцієнт конвективного теплообміну між пластиною та склом, h_{nl-c} , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, визначається з рівняння:

$$h_{nl-c} = \left[1 - 0,0018 \cdot (t_{nl,сep} - 10) \cdot \frac{1,14(\Delta t)^{0,31}}{l^{0,07}} \right], \quad (4)$$

де $t_{nl,сep}$ – усереднене значення температури поверхні теплопоглинаючої пластини, °C; Δt – різниця температур поверхні теплопоглинаючої та світлопроникної пластин, °C; l – відстань між пластинами, м.

Коефіцієнт тепловіддачі в навколишнє середовище, $h_{конв}$, Вт/(м²·°C), залежить від швидкості повітря U , м/с:

$$h_{конв} = 5,7 + 3,8 \cdot U \quad (5)$$

Коефіцієнти теплообміну випромінюванням від пластини до скла, $h_{p,nl-c}$, Вт/(м²·°C) та від скла до навколишнього середовища, $h_{p,c-атм}$, Вт/(м²·°C), рівні:

$$h_{p,nl-c} = \frac{\sigma(t_{nl}^2 + t_c^2)(t_{nl} + t_c)}{(1/\varepsilon_{nl}) + (1/\varepsilon_c) - 1} \quad (6)$$

$$h_{p,c-атм} = \varepsilon_c \cdot \sigma \cdot (t_c + t_n^2)(t_c + t_n) \quad (7)$$

де $\sigma = 5,67 \times 10^{-8}$ Вт/(м²·°C⁴) – стала Стефана-Больцмана; $\varepsilon_{nl}, \varepsilon_c$ – ступінь чорноти поверхні теплопоглинаючої пластини та скла ($\varepsilon_{nl} = 0,9; \varepsilon_c = 0,85$); $t_n = t_{з.нов} - 6, °C$ – температура небосхилу.

Методика розрахунку полягає в тому, що довільно задається температура поверхні скляної пластини t_c і визначаються вище вказані коефіцієнти та U_c . Результати цих обчислень використовуються для визначення t_c за приведеною вище формулою. Якщо отримане значення t_c близьке до попередньо заданого розрахунок завершено. В іншому випадку одержана температура t_c приймається за розрахунок і обчислення повторюється.

Таким чином, кількість теплової енергії, що втрачається в навколишнє середовище через скло буде рівною:

$$Q = F_{nl} \cdot (h_{nl-c}(t_{nl} - t_c) + \frac{\sigma(t_{nl}^4 - t_c^4)}{(1/\varepsilon_{nl}) + (1/\varepsilon_c) - 1}), \quad (8)$$

Згідно з методикою запропонованою Ель Себаї [3], використовуючи коефіцієнт тепловтрат, можна визначити теплову потужність повітряного сонячного колектора, Q , Вт (9) та його коефіцієнт ексергетичної ефективності (11):

$$Q = A \cdot [I(\varepsilon_{nl}) - \frac{U_{впр}(t_{вих} - t_{ex})}{2}] \cdot F_{nl}, \quad (9)$$

Фактор ефективності сонячного колектора, A :

$$A = h_{конв} / (h_{конв} + U_{впр}), \quad (10)$$

Ексергія сонячного повітрянагрівача, Ex_n , Вт, визначається наступним чином:

$$Ex_n = Q_{л.к} - m \cdot c_p \cdot t_{з.н} \cdot \ln\left(\frac{t_{вих}}{t_{ex}}\right) - \frac{t_{з.н}}{t_{ex}} \cdot W, \text{ Вт} \quad (11)$$

де W – робота, яку виконує вентилятор, Вт. Оскільки дослідний сонячний колектор

працює в пасивному режимі, доданок $\frac{t_{з.н}}{t_{ex}} \cdot W = 0$. Тоді формула набуде вигляду:

$$Ex_n = Q_{n.k} - m \cdot c_p \cdot t_{z.n} \cdot \ln\left(\frac{t_{вих}}{t_{ex}}\right), \quad (12)$$

Коефіцієнт ексергетичної ефективності сонячного колектора:

$$\eta_{ex} = \frac{Ex_n}{I_T F_{nk} \left(1 - \frac{t_a}{t_s}\right)}. \quad (13)$$

де $t_s=4080$ °С – температура Сонця, яка рівна $\frac{3}{4}$ температури його абсолютно чорного тіла [4].

РЕЗУЛЬТАТИ І ЇХ АНАЛІЗ

Згідно із виконаними обрахунками усереднений сумарний коефіцієнт тепловтрат дослідного термосифонного сонячного колектора становить 2,8 Вт/(м²·°С), оскільки це значення не перевищує 2,9 Вт/(м²·°С) запропоновану конструкцію можна вважати ефективною.

На рис. 4а представлено залежність ексергетичного коефіцієнта, η_{ex} , % запропонованого геліоколектора від масової витрати, L , м³/год. та температури теплоносія на виході з термосифонного сонячного колектора, $t_{вих}$, °С. Максимальне значення коефіцієнта ексергії, що отримане для даної моделі становить 7,2 %. Саїд Фарахат [5] досліджував ексергію сонячного повітрянагрівача, використовуючи вентилятор для перенесення повітряних мас, значення цього коефіцієнта для запропонованої ним конструкції рівний 7,43%. У результаті співставлення даних спостерігається подібність результатів.

На рис. 4б зображено графічну залежність теплової потужності сонячного повітрянагрівача Q , Вт від температури теплоносія на виході з термосифонного сонячного колектора, $t_{вих}$, °С та інтенсивності сонячного випромінювання, I , Вт/м².

В цих двох залежностях спостерігається схожість. В пасивній геліосистемі, яка працює за принципом вільної конвекції без вентилятора, ексергетичний коефіцієнт зростає разом з тепловою потужністю (рис.4а,б), оскільки не має додаткових затрат енергії на транспортування теплоносія.

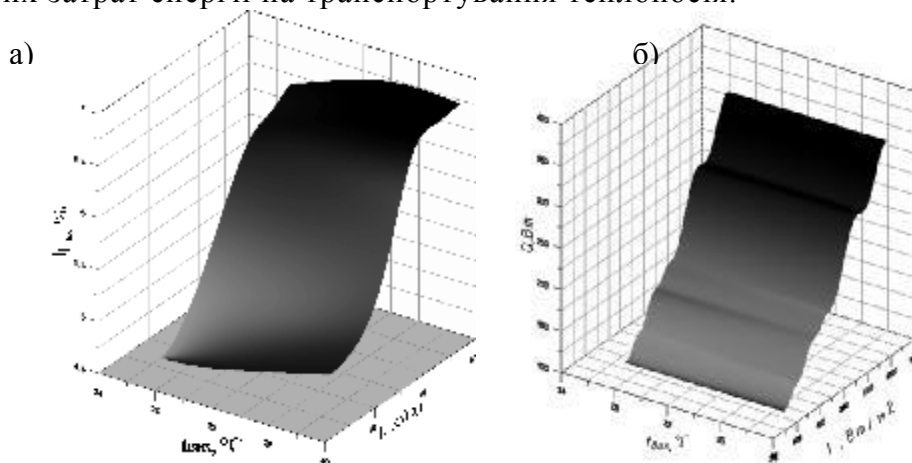


Рис. 4. Теплові характеристики запропонованого термосифонного геліоколектора:
а – залежність ексергетичного коефіцієнта, η_{ex} , %, від температури теплоносія на виході з геліоколектора, $t_{вих}$, °С, та його масової витрати, L , м³/год.;
б – залежність теплової потужності геліоколектора, Q , Вт, від температури теплоносія на виході з колектора, $t_{вих}$, °С, та інтенсивності сонячного випромінювання, I , Вт/м²

ВИСНОВКИ

В даній роботі наведено уточнену методику визначення теплових характеристик повітряного геліоколектора із пасивним використанням сонячної енергії.

Проведено співставлення ексергетичних коефіцієнтів та коефіцієнтів тепловтрат запропонованого та існуючих сонячних колекторів, при цьому слід відзначити їх достатню збіжність.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Fabio Struckmann, 2008, «Analysis of a Flat plate Solar Collector», Renewable Energy Technology.
2. Duffie JA, Beckman WA, 1991. Solar engineering of thermal processes. New York: Wiley;
3. A.A. El-Sebaei, H. Al-Snani, 2010, «Effect of selective coating on thermal performance of flat plate solar air heaters», Journal of Solar Energy № 35, pp. 1820–1828.
4. Bejan, A., Keary, D. W. and Kreith, F., 1981, “Second Law Analysis and Synthesis of Solar Collector Systems”, Journal of Solar Energy.
5. Farahat, S., Ajam, H. and Sarhaddi, F., 2004a, “Method and Basis of Flat Plate Collector Optimization with Exergy Concept”, Proceedings of First Iranian Conference on Ecoenergy, Urmia University, Urmia, Iran.
6. Farahat, S., Ajam, H. and Sarhaddi, F., 2004b, “Optimization of Linear Parabolic Solar Collectors with Exergy Concept”, Proceedings of 19th International Power System Conference, Tehran, Iran.
7. Geng Liu, Y., Cengel, A. and Turner, R. H., 1995, Exergy Analysis of a Solar Heating System, Journal of Solar Energy Engineering, Vol. 1173,p.

УДК 628.356

НАДЕЖНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

Салиев Э. И.

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

Приведена одна из главных свойств надежности систем водоснабжения и водоотведения – ремонтпригодность и ее характеристики. Была произведена комплексная оценка критериев трубопроводов и значительное количество эксплуатационной и диагностической информации, а также альтернативная методика гидравлического расчета трубопровода, имеющих значительный износ и повреждения.

Надежность, ремонтпригодность, вероятность восстановления, среднее время восстановления, коэффициент технического использования, коэффициент готовности, мобильные измерительные комплексы

ВВЕДЕНИЕ

Общая протяженность водопроводных сетей в Украине составляет 86 тыс. км из них в аварийном состоянии находятся 29,3 тыс. км, и потери воды сегодня достигают 50 %. При эксплуатации городских водопроводов значительная часть трудовых затрат приходится на устранение повреждений трубопроводов [3]. Кроме того, при ликвидации повреждений отключаются большие участки, что неблагоприятно сказывается на обеспечении потребителей водой. Аварийные ситуации приводят к потерям воды, а, следовательно, и к возникновению дефицита воды в целом по городу. Поэтому снижение количества повреждений трубопроводов является одним из основных резервов экономии эксплуатационных затрат на городских водопроводах. С этой целью проводится анализ

аварийности трубопроводов, на основании которого и разрабатываются мероприятия по снижению аварийности на сети [5].

Контроль, поддержание и восстановление работоспособного состояния систем водоснабжения и водоотведения является наиболее важной задачей технической эксплуатации для обеспечения требуемого уровня надёжности, при заданной долговечности и технико-экономических показателях.

Повышение надёжности систем водоснабжения и водоотведения, их функционирования способствует росту производительности общественного труда, экономии материальных и энергетических ресурсов, эффективному использованию общественных фондов и дальнейшему повышению жизненного уровня человека, т.е. успешному решению всех основных задач промышленного и народнохозяйственного развития [1].

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В проведенном обзоре литературы была собрана информация о ремонтпригодности трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения, а также технические возможности с применением современных автоматизированных программ [1-10]. В результате разработанного опыта имеется возможность определить состояние трубопроводов с учетом фактических потерь воды [10]. На данную тему о ремонтпригодности систем водоснабжения и водоотведения были опубликованы статьи в научных сборниках [1,6,7,8,10].

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

Целью данной работы была разработка раскрыть свойства надёжности и ремонтпригодности существующих систем водоснабжения и водоотведения методом аналитического и графического исследования.

Поставлена задача проведения испытания состояния трубопроводов воды находящиеся в эксплуатации. Проведено испытание трубопровода находившийся в эксплуатации более 10 лет.

Актуальность повышения надёжности систем водоснабжения и водоотведения возрастает; тем более становится необходимой практическое решение возникающих задач на стадиях проектирования, строительства и эксплуатации систем в целом.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Надёжность - это свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных значения установленных эксплуатационных показателей. Надёжность определяется качеством проектирования, строительства и эксплуатации [7].

Одним из главных свойств надёжности, которое, к сожалению, недостаточно рассматривается для систем водоснабжения и водоотведения, является **ремонтпригодность**.

Ремонтпригодность - это свойство надёжности, которое заключается в приспособленности технической системы к проведению различных работ по его техническому обслуживанию и ремонту для обеспечения, сохранения или поддержания рабочих параметров в пределах установленных допусков, в течении требуемого интервала времени эксплуатации.

Ремонтпригодность в теории надёжности характеризуется: средним временем восстановления, вероятностью восстановления работоспособности в течение определённого интервала времени, коэффициентом готовности, коэффициентом технического использования.

Среднее время восстановления T_e – это математическое ожидание времени восстановления работоспособного состояния объекта после отказа и определяется по формуле [6]:

$$T_e = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_{e,i} \quad 1)$$

где: $t_{e,i}$ – время устранения i -го отказа; m – количество отказов, наблюдаемых в процессе испытаний или эксплуатации.

Вероятность восстановления - это вероятность того, что время восстановления объекта будет меньше времени, т.е. не превысит заданного

$$P_{\text{в}}(t) = B_{\text{ep}}[t_{\text{в}} \leq t]$$

Вероятность восстановления конструкций сетей и сооружений систем ВК в заданное время вычисляется по формуле [6]:

$$P_{\text{в}}(t) = \int_0^t f_{\text{в}}(t) dt \quad (2)$$

Коэффициент готовности (КГ) представляет собой вероятность того, что изделие будет работоспособно в произвольно выбранный момент времени, кроме периодов времени выполнения планового технического обслуживания [8].

В стационарном режиме эксплуатации коэффициент готовности определяется по формуле:

$$K_{\Gamma} = \frac{T}{T + T_{\text{в}}} \quad (3)$$

где: T — наработка на отказ.

Коэффициент технического использования $K_{\text{ти}}$, представляет собой отношение времени работы системы за некоторый период эксплуатации к сумме этой времени работы и времени всех простоев, обусловленных устранением отказов, техническим обслуживанием и ремонтами за тот же период [6].

Коэффициент технического использования определяется по формуле:

$$K_{\text{ти}} = \frac{t_{\text{р}}}{t_{\text{р}} + t_{\text{рем}} + t_{\text{ТО}} + t_{\text{в}}} \quad (4)$$

где: $t_{\text{р}}$ — суммарная наработка изделия в рассматриваемый промежуток времени;

$t_{\text{в}}$, , — соответственно суммарное время, затраченное на восстановление, ремонт и техническое обслуживание за тот же период времени.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗЫ

Комплексная оценка критериев целесообразности перекладки или реконструкции трубопроводов связана с обработкой значительного количества эксплуатационной и диагностической информации и возможна при наличии автоматизированных программ, на базе которых могут быть обоснованно определены объекты и объемы восстановления трубопроводов (см. рис. 1 и рис. 2).

Существующая методика гидравлического расчёта, позволяет осуществлять расчёт для стационарного состояния трубопроводов. На ваше рассмотрение предлагается альтернативная методика гидравлического расчёта в трубопроводах, имеющих значительный износ и повреждения, она намного сложнее, но при этом обеспечивает получение значительно большей информации [10].

МОБИЛЬНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ В РАБОЧИХ УСЛОВИЯХ



Рис. 1. Преобразователь давления S-10



Рис. 2. Аналого- цифровой преобразователь ADA-1406

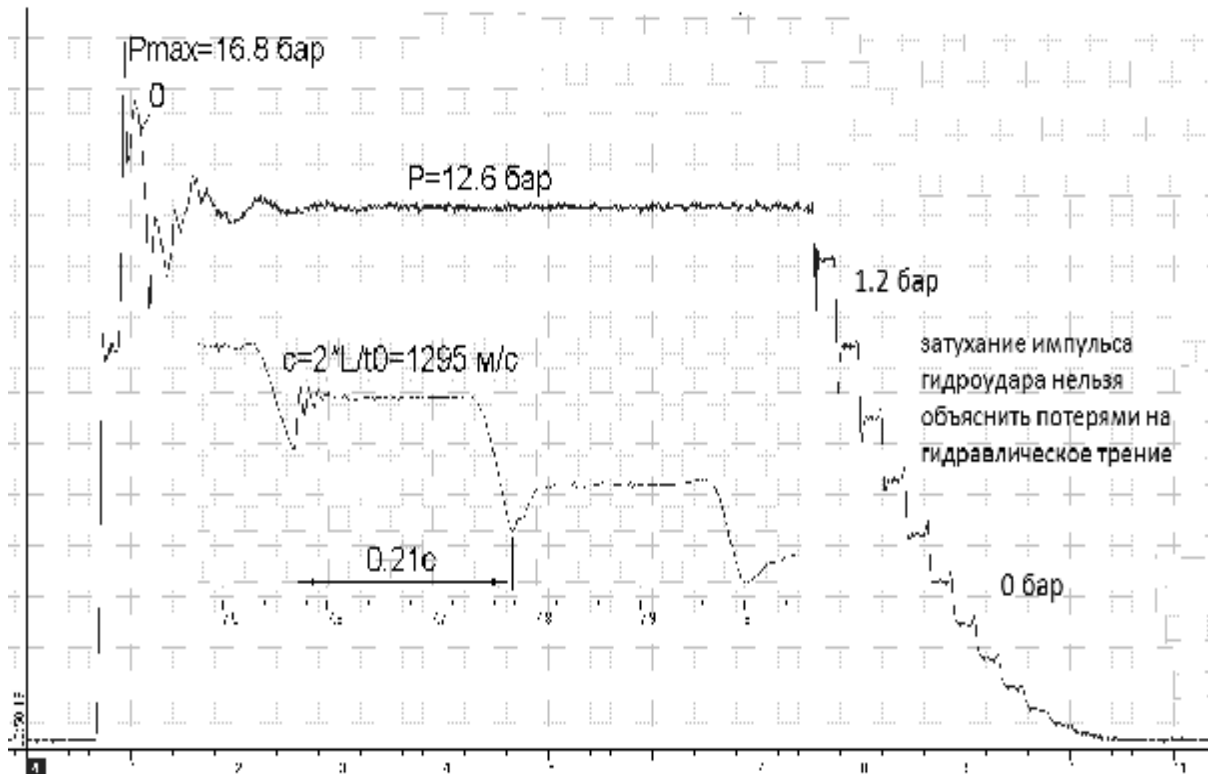


Рис. 3. График изменения давления при включении и отключении насоса

РАСЧЕТ СКОРОСТИ ВОДЫ НА ЭКСПЕРИМЕНТИРУЕМОМ УЧАСТКЕ

Исходные данные:

$$\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \quad \delta = 10 \text{ мм}; \quad E_{tr} = 200 \cdot 10^9 \text{ Па}; \quad a = 1425 \frac{\text{м}}{\text{с}}; \quad d = 219 \text{ мм};$$

$$L = 136 \text{ м}; \quad E_g = 2,031 \cdot 10^9 \text{ Па}$$

Расчетная скорость:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\frac{\rho}{E_g} + \frac{\rho \cdot d}{\delta \cdot E_{tr}}}} \quad (1)$$

$$c = 1,289 \cdot 10^3 \frac{M}{c}$$

Полученная скорость: $Pr_{t0} = 0,21$ с.;

$$c = \frac{2 \cdot L}{t_0} = 1295 \frac{M}{c} \quad (2)$$

РАСЧЕТ ПОТЕРЬ НАПОРА НА ЭКСПЕРИМЕНТИРУЕМОМ УЧАСТКЕ

$$\eta = 10^{-3} \frac{K^2}{M \cdot c}; \quad \lambda = 0,085; \quad Re = 5,387 \cdot 10^4$$

$$H_t = \frac{\lambda \cdot L \cdot V^2}{2 \cdot g \cdot d} \quad (3)$$

$$2 \cdot N \cdot H_t = 1,963 \text{ м}$$

Потери напора на изменении сечения трубы:

$$h_i = \frac{(1 - \frac{S}{S \cdot d})^2}{2} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (4)$$

$$h_i = 0,51 \text{ м}$$

$$H_t + h_i = 1,963 + 0,51 = 2,473 \text{ м}$$

1 атм. = 10 м

1 амт. = 1,013 бар

1,2 бар = 12,156 м.

12,156 - 2,473 = 9,68 м. – не учтенные потери.

ВЫВОДЫ

В процессе эксперимента, путём сравнения теоретических и экспериментальных данных, удалось убедиться, что данная методика гидравлического расчёта работоспособна и регистрирует процессы с достаточно большой точностью, благодаря мобильным измерительным комплексам.

Установлено, что при достаточно высоком износе трубопроводов, выраженном в виде трещин, свищей, переломов и т.д., скорость затухания гидравлического удара увеличивается (см. рис. 3). Также удалось установить, что затухание импульса гидроудара нельзя объяснить потерями на гидравлическом трении, значит можно предположить, что существуют потери, которые не учтены и наша задача обнаружить их и это позволит более точно определить степень износа трубопроводов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Салиев Э.И. Надежность как базовый элемент качества систем водоснабжения / Э.И. Салиев, И.В. Николенко, Э.У. Гаффарова // Вестник Восточноукраинского национального университета им. Даля. – 2012. – Вып. 12 (183) ч. 1. – С. 321–333.
2. Гіроль М. М. Ефективність систем водопостачання України як фактор національної безпеки держави / М. М. Гіроль, М. М. Тіроль, Г. М. Семчук // Надзвичайна ситуація. – 2001. – № 5. – С.10–14.
3. Салиев Э.И. Современное состояние системы водоснабжения и канализации, качество питьевой воды в Украине, проблемы и пути их решения / Э.И. Салиев, И.Н. Каленик // Интегрированные технологии и энергосбережение. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2012. Вып. 4. – С. 147–150.

4. Современные водяные системы пожаротушения / С.М. Эпоян, О.Г. Друшляк, О.Г. Исакиева, Т.С. Айрапетян, Н.А. Бруев // Научный вестник строительства. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2011. Вып. 63. – С. 95–98.
5. Гіроль, М.М. Стан водопостачання та водовідведення в Україні / М.М. Гіроль, О.А. Ткачук, Г.М. Семчук та ін. // Науковий вісник будівництва. – Одеса: ОДАБА, 2005. – Вип. 19. – С. 3–9.
6. Салиев Э.И. Параметры надежности системы водоснабжения и канализации, ремонтпригодность как главное свойство надежности / Э.И. Салиев // Научный вестник строительства. Сб. науч. трудов. – Харьков: ХНУСА. – Вып. 70. – С. 285–297.
7. Ильин Ю. А. Показатели надежности трубопроводов водопроводной сети / Ю. А. Ильин // Вопросы надежности систем водоснабжения. Сб. науч. трудов. – Москва: МИСИ, 1978. – Вып. 170. – С. 61–69.
8. Салиев Э.И. Оценка влияния показателей ремонтпригодности систем водоснабжения и водоотведения на их технико-экономические показатели / Э.И. Салиев, И.В. Николенко, Э.У. Гаффарова // Научный вестник строительства – Харьков: ХНУСА, – 2012. – Вып. 69 – С. 296-302.
9. Салієв Е. І. Єдина водна регіональна компанія: «за» і «проти» / Е.І. Салієв // Упр. сучас. містом. – 2005. – № 3–4/7–12 (19–20). – С. 228–234.
10. Салиев Э.И. Качество как базовый элемент надежности систем водоснабжения: сб. научных докладов по материалам Международного конгресса и технической выставки «ЭТЭВК-2013», 1-5 июня 2013г., Ялта / Э.И. Салиев // Сборник докладов. – Киев: НИКТИГХ. – 2013. – С. 167–176.

УДК 621.565.094

ЦИЛИНДРИЧЕСКИЙ ТЕПЛООБМЕННИК

Хван В.С.

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

Разработан теплообменный аппарат в виде цилиндра, внутри которого размещены цилиндрические перегородки, имеющие различные поперечные размеры и одинаковые размеры по высоте цилиндра, вставленные друг в друга таким образом, что оси цилиндров совпадают. При этом цилиндрические металлические перегородки внутри аппарата не пересекаются, а располагаются параллельно друг к другу. Между соседними цилиндрическими перегородками образуются полости, размеры этих полостей изменяются. Примыкающая к корпусу аппарата полость имеет самый большой размер, а в центре аппарата самый маленький. В четные, по нумерации, полости подается высокотемпературная среда, например горячая вода, и в нечетные, по нумерации, полости подается низкотемпературная среда, например, холодная вода. Подача горячей и холодной воды в теплообменник, а также вывод охлажденной и нагретой воды из него осуществляется через специальные устройства, которые установлены внутри аппарата.

Теплообменник, высокотемпературная среда, низкотемпературная среда, охлажденная вода, нагретая вода, цилиндр, поверхность, устройство для подачи горячей воды, устройство для подачи холодной воды, устройство для отвода охлажденной воды, устройство для отвода нагретой воды, корпус аппарата.

ВВЕДЕНИЕ

Снижению материалоемкости и повышению эффективности работы теплообменных аппаратов уделяется в настоящее время очень большое внимание со стороны

специалистов в этой области знаний. Процесс теплообмена между двумя средами типа вода-вода в теплообменных аппаратах имеет ключевое значение для систем отопления, так как позволяет увеличить степень нагрева низкотемпературного теплоносителя и сократить непроизводительные потери тепла. Достаточно большое количество известных конструкций теплообменников обладают такими существенными недостатками как высокая материалоемкость и трудоемкость изготовления, что соответственно значительно утяжеляет аппарат и сдерживает его массовое производство.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Известен шарообразный теплообменный аппарат включающий: выполненный из нескольких металлических сферических поверхностей разного диаметра, установленных друг в друга таким образом, что центры шаров совпадают в одной точке, а сферические поверхности не пересекаются друг с другом. При этом сферические поверхности служат поверхностями теплообмена между двумя средами, одна из которых имеет температуру значительно большую чем другая, например 80°C и 50°C. При этом внутри аппарата установлены устройства для подачи горячей воды, охлажденной воды, подачи нагреваемой воды и отвода нагретой воды. [1].

Известное устройство имеет достаточно сложную конструкцию и обладает весьма высокой материалоемкостью. И как следствие, такие аппараты обладают высокой стоимостью.

В самом деле, известные теплообменники имеют очень большую поверхность теплообмена в виде шара, а значит, на их изготовление потребуется большое количество металла, что в свою очередь приведет к удорожанию стоимости изделия.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

Цель. Снижение материалоемкости конструкции аппарата, при сохранении его эффективности работы.

Поставленная цель достигается за счет изменения конструкции теплообменника, последний выполнен в виде цилиндра, внутри которого установлены цилиндрические перегородки, имеющие различные поперечные размеры и одинаковые размеры по высоте цилиндра, вставленные друг в друга таким образом, что оси цилиндров совпадают. В результате экономия материала на изготовление теплообменника может составить 15-30% по сравнению с аналогом, при прочих равных габаритных размерах, а эффективность работы аппарата не претерпит существенных изменений.

Задачи. Теплообменник выполнен в виде цилиндра, внутри которого установлены цилиндрические перегородки, имеющие различные поперечные размеры и одинаковые размеры по высоте цилиндра, вставленные друг в друга таким образом, что оси цилиндров совпадают, при этом цилиндрические поверхности конструкции, служащие в качестве перегородок внутри аппарата не пересекаются, а располагаются параллельно друг к другу. Между соседними перегородками внутри аппарата образуются полости, размеры этих полостей изменяются. Наружная полость имеет самый большой размер, а в центре аппарата самый маленький. В четные, по нумерации, полости подается высокотемпературная среда, например горячая вода, и в нечетные, по нумерации, полости подается низкотемпературная среда, например, холодная вода. Подача горячей и холодной воды в теплообменник, а также вывод охлажденной и нагретой воды из него осуществляется через специальные устройства, которые установлены внутри аппарата.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Разработан принципиально новый аппарат оригинальной конструкции. На рис. 1 представлена конструкция теплообменного аппарата.

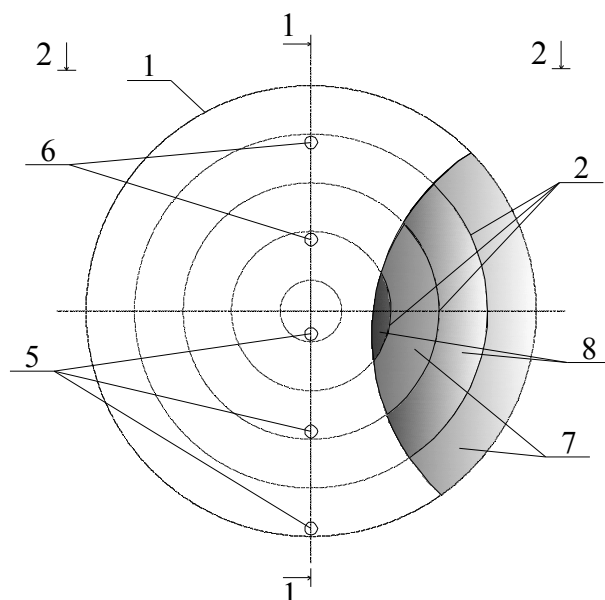


Рис. 1. Конструкция теплообменника:

1 – металлический цилиндрический корпус; 2- цилиндрические перегородки; 3 - устройства для подачи горячей воды; 4 – устройства для подачи холодной воды; 5 – устройство для отвода охлажденной воды; 6 – устройство для отвода нагретой воды; 7 – горячая вода. 8 - холодная вода.

Конструкция пылеуловителя включает: металлический цилиндрический корпус 1, внутри которого установлены цилиндрические металлические перегородки 2. Подача горячей воды в аппарат осуществляется через устройства 3. В свою очередь подача холодной воды производится через устройства 4. Для отвода охлажденной воды предусмотрено устройства 5, а для отвода нагретой воды – устройства 6. Четные внутренние полости аппарата заполнены холодной водой 8, а нечетные внутренние полости аппарата заполнены горячей водой 7.

На рис. 2 представлен разрез теплообменника по линии 1-1.

На рис. 3 представлен разрез теплообменника по линии 2-2.

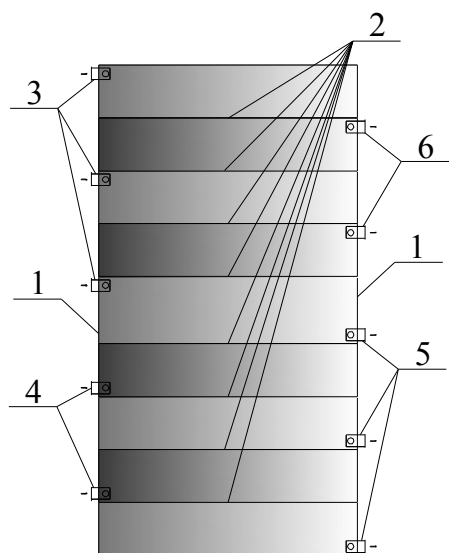


Рис. 2. Разрез теплообменника по линии 1-1

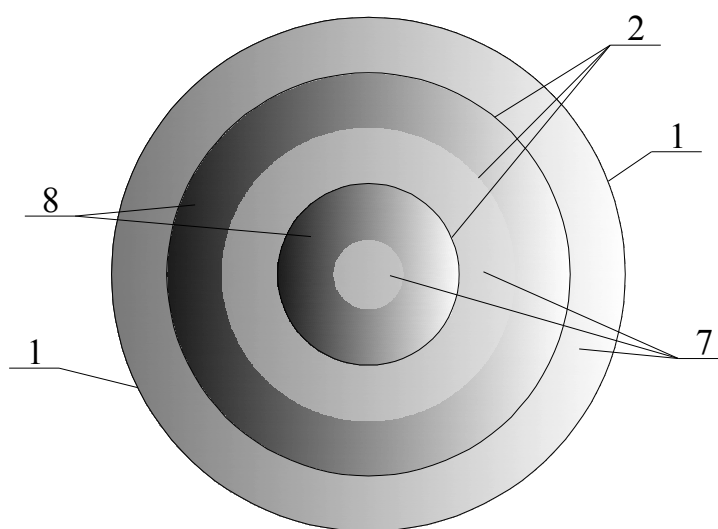


Рис. 3. Разрез теплообменника по линии 2-2

Теплообменник работает следующим образом. С помощью устройства для подачи горячей воды 3 и далее через отверстия горячая вода поступает в нечетные полости аппарата и заполняет их. Одновременно, происходит заполнение четных полостей аппарата с помощью устройства для подачи холодной воды 4 и далее через отверстия в

четные полости. Холодная вода 8, размещенная в четных полостях, контактирует с горячей водой 7, размещенной в нечетных полостях. Через цилиндрические металлические перегородки 2 между ними происходит теплообмен. Причем следует заметить, что холодная вода будет подвергаться нагреву с двух сторон, в результате холодная вода 8 будет нагреваться в четных полостях, получая тепло, а горячая вода 7 будет охлаждаться в нечетных полостях, отдавая тепло. После этого охлажденная вода выводится из аппарата из нечетных полостей через устройства 5. В свою очередь, нагретая в аппарате горячая вода, выводится из аппарата через устройства 6. Увеличивая температуру горячей воды 7 и ее расход на входе в аппарат, мы будем получать больше нагретой воды с более высокой температурой на выходе из аппарата, при прочих равных условиях. Двусторонний нагрев холодной воды, а также большая площадь теплопередающей поверхности позволяет повысить эффективность теплообмена между двумя средами, в частности вода-вода.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Использование разработанного устройства в качестве теплообменника в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха позволяет снизить материалоемкость аппарата на 15-30% по сравнению с аналогом, при сопоставимых габаритных размерах. Эффективность работы теплообменника при этом не претерпит существенных изменений по сравнению с аналогом.

Разработанное устройство теплообменника обладает, по мнению автора, следующими недостатками:

сложностью конструкции;

сравнительно высокой трудоемкостью изготовления;

сравнительно высокими экономическими затратами на его производство;

Сравнительно высокими энергетическими затратами при эксплуатации.

Дальнейшее совершенствование конструкции аппарата предполагается по таким направлениям, которые позволят существенным образом сократить количество недостатков и повысить такие потребительские свойства изделия как долговечность, надежность работы, экономичность эксплуатации, эстетичность, функциональность.

Научная работа по вышеуказанным направлениям ведется, проделан большой объем работ. В самое ближайшее время будут представлены новые научные идеи, которые существенным образом изменят линейку известных конструкций теплообменников.

В арсенале автора имеется ряд прорывных научных идей, которые позволят обогатить научные разработки в области создания и эксплуатации теплообменных аппаратов.

В недалекой перспективе к этому направлению научной деятельности предполагается приобщить студентов старших курсов специальности теплогазоснабжения и вентиляции.

Выводы

Разработанный теплообменный аппарат позволяет:

- Обеспечить двусторонний нагрев холодной воды горячей водой.
- Снизить материалоемкость конструкции на 15-30%, по сравнению с аналогом.
- Снизить стоимость оборудования.
- Сохранить эффективность работы теплообменного аппарата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Хван В.С. Шарообразный теплообменник». //Сборник научных трудов НАПКС «Строительство и техногенная безопасность». -Симферополь : НАПКС. – 2013. Вып. 45. С. 137-140.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИ СЖИГАНИИ ВЫСОКОЗОЛЬНОГО ТОПЛИВА В КИПЯЩЕМ СЛОЕ

Шайхед О.

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, Украина

Проведены расчеты экономической эффективности при сжигании высокозольных Донецких углей в низкотемпературном кипящем слое (НТКС) для котлов малой и средней мощности. Произведен сравнительный вариант расчета годового расхода топлива для двух видов топок. Подсчитан коэффициент полезного действия котла при сжигании низкосортного топлива. Рассчитан чистый дисконтированный доход.

Кипящий слой, котел, расход топлива, топка.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время все большее применение находит сжигание твердого топлива в топках с низкотемпературным кипящим слоем (НТКС). Одним из основных факторов, которые отличают этот способ от других известных, является возможность сжигать слабореакционные низкосортные топлива с большой зольностью. В связи с этим в качестве топлива в топках с НТКС можно использовать отходы угледобычи и углепереработки, стоимость которых значительно ниже стоимости сортовых углей. Поэтому при сжигании твердых топлив в НТКС может быть получен большой экономический эффект.

Украина владеет значительными ресурсами высокозольных углей и отходов углеобогащения, которые могут быть использованы в тепловой энергетике с помощью современных технологий [1]. Главным районом добычи угля в Украине является Донецкий бассейн.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Экономическая эффективность применения технологии НТКС обусловлена ее следующими преимуществами:

- а) отсутствием шлакования и загрязнения поверхностей нагрева;
- б) предпочтительностью по стоимости и долговечности топок НТКС перед типовыми слоевыми топками;
- в) возможностью сжигания различного типа топлив и горючих отходов;
- г) использованием свободного кипящего слоя без погруженных в слой поверхностей нагрева, что упрощает конструкцию, исключает абразивный износ.

По сравнению с альтернативными, внедрение технологии НТКС требует существенно меньше капитальных затрат. Технология НТКС наиболее адаптирована к топливам ухудшенного качества, позволяет устанавливать воздухораспределительную решетку небольших размеров, под которую подается 40 – 50 % воздуха, участвующего в горении; остальной воздух поступает через сопла вторичного дутья. Это гарантирует: хорошее выжигание топлива без применения дорогостоящих сепарационных устройств с возвратом уноса, снижение выбросов оксидов азота в 2 раза за счет двухстадийного горения и низких температур слоя.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Повысить эффективность и экономичность работы котлоагрегатов малой и средней мощности при сжигании высокозольных углей за счет усовершенствования конструкции топки с НТКС, минимизировать вредное воздействие на окружающую среду.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Автором было предложено новое конструктивное решение топок с НТКС, позволяющее снизить расходы топлива, улучшить экологические и экономические показатели и уменьшить эмиссию вредных выбросов (CO; NO_x; SO₂) [2]. Принципиальная новизна заключается:

- 1) в организации длительного горения топлива за счет увеличения объема зоны горения. Длительность горения увеличивается прежде всего за счет увеличения топочного объема устройством кладки.
- 2) в формировании зоны горения за счет формы кладки, пережима сверху зоны горения, особой подачи топлива и вторичного дутья.
- 3) в организации подачи вторичного воздуха, возможности изменения положения сопел вторичного дутья.
- 4) в подаче топлива как можно выше над слоем, что позволяет лучше регулировать подготовку угля и выжигать мелкий уголь сразу в надслоевом пространстве.

Экономический эффект от применения слоевого способа сжигания угля на котлах малой и средней мощности в общем виде может быть выражен формулой:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{экспл}} + \mathcal{E}_{\text{рем, ав}} + \mathcal{E}_{\text{экол}}, \quad (1)$$

где $\mathcal{E}_{\text{экспл}}$ – эффект в сфере эксплуатации котлов (достигается вследствие повышения КПД котла в результате сокращения потерь тепловой энергии от механической неполноты сгорания топлива);

$\mathcal{E}_{\text{рем, ав}}$ – сокращение удельных годовых затрат на ремонты и послеаварийные запуски котлов;

$\mathcal{E}_{\text{экол}}$ – выраженный в стоимостном выражении экологический эффект от сокращения выбросов оксидов азота и размещения твердых отходов. Рассмотрим указанные составляющие экономического эффекта.

Коэффициент полезного действия котла описывается выражением:

$$\eta^{\text{пр}} = 100 - \sum q, \%, \quad (2)$$

$$\sum q = q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6, \quad (3)$$

где q_2 – потери с физическим теплом уходящих газов;

q_3 – потеря с химической неполнотой сгорания;

q_4 – потеря с механическим недожогом;

q_5 – потеря тепла через ограждения котла в окружающую среду;

q_6 – потеря тепла с физическим теплом шлаков.

Подсчет потерь тепла от механического недожога производится по золотовому балансу топлива [3]. Механический недожоги топлива, как уже указывалось, расчленяется на три части: потери от провала топлива через зазоры колосниковой решетки, потери в шлаках и с уносом:

$$q_4 = q_4^{\text{ун}} + q_4^{\text{шл}} + q_4^{\text{пр}}, \%, \quad (4)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

По результатам исследований определены значения q_4 для углей Донбасского месторождения: марки Г $q_4 = 5,3 \%$; марки Д $q_4 = 4,4 \%$; марки Т $q_4 = 1,24 \%$. Для расчета КПД котла принимаем среднее значение $q_4 = 3,6 \%$. Тогда при $q_2 = 5,81 \%$; $q_3 = 0,86 \%$; $q_4 = 3,6 \%$; $q_5 = 1,2 \%$; $q_6 = 0 \%$, значение $\eta = 100 - 11,47 = 88,53 \%$.

Рассчитаем годовой расход топлива на один котел со стандартной слоевой топкой:

$$B_p = \frac{Q_n}{\eta \cdot Q_p} \cdot 3600 \cdot 4392 = \frac{10 \cdot 10^3}{0,75 \cdot 19490} \cdot 3600 \cdot 4392 \approx 1,082 \text{ млн. т/год} \quad (5)$$

Годовой расход топлива на один котел с разработанной конструкцией топки составит:

$$B_p = \frac{Q_n}{\eta \cdot Q_p} \cdot 3600 \cdot 4392 = \frac{10 \cdot 10^3}{0,885 \cdot 19490} \cdot 3600 \cdot 4392 \approx 916 \text{ тыс. т/год}, \quad (6)$$

где 4392 – продолжительность отопительного периода, час.

Итак, за счет снижения механического недожога в конструкциях топки котлов малой и средней мощности до 3,6 %, происходит экономия топлива 165 тыс. т/год. При

настоящей стоимости высокозольных углей 800-1100 грн/т годовой экономический эффект при использовании одного котла составит в среднем ≈ 150 тыс. грн.

Снижение затрат на текущие ремонты и послеаварийные запуски котлов определяется по данным эксплуатирующих организаций из расчета стоимости текущих ремонтов и стоимости топлива на растопку котлов. Расход топлива на растопку котлов в год зависит от числа и длительности остановок котлов, от величины поверхности нагрева котлов. Число остановок котлов в сезоне и длительность остановок перед растопкой определяются по утвержденному режимному графику работы котельной и графикам планово-предупредительных осмотров и ремонтов. Расход топлива на одну растопку котла принимается по данным табл.1.

Таблица 1.

Расход топлива на растопку котлов (в кг условного топлива на одну растопку)

Поверхность нагрева котла, м ²	Длительность остановки котла, час						
	2	6	12	18	24	48	более 48
До 50	10	25	50	75	100	200	300
51-100	17	50	100	150	200	400	600
101-200	34	100	200	300	400	800	1200
201-300	52	150	300	450	600	1200	1800
301-400	68	200	400	600	800	1600	2400
401-500	85	250	500	750	1000	2000	3000

Поскольку котлы мощностью до 10 МВт со слоевыми топками зарекомендовали себя как достаточно надежные и безаварийные, в содержании ремонтов отсутствуют ликвидация последствий кратерного и абразивного износа конструкций котла [4]. В среднем экономия годовых затрат на ремонтные работы составляет 1,1-1,5 тыс. грн. на один котел.

Стоимостное выражение экологического эффекта (от сокращения массы отходов (зола, шлака) при их средней плотности 1,5 т/м³ и классе опасности отходов – 4) может быть выполнено по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{экол}} = M \cdot Z_{\text{транс}} + M \cdot H_{\text{разм}} \quad (7)$$

где M – масса отходов, т;

$Z_{\text{транс}}$ – тариф на транспортировку 1 тонны отходов на полигоны (≈ 60 грн/т);

$H_{\text{разм}}$ - ставка платы за размещение 1 тонны отходов (плата за загрязнение окружающей среды), $H_{\text{разм}}=0,80$ грн/т.

В среднем на один котел годовая сумма платежей сокращается на 0,16-0,24 тыс. грн.

Таким образом, внедрение результатов работы позволит получить экономический эффект в размере 165 тыс. грн./год на 1 котел.

Учитывая то, что срок эксплуатации подобных котлов составляет в среднем 7 лет, рассчитаем чистый дисконтированный доход за весь срок службы котла.

Чистый дисконтированный доход - это разница между суммой дисконтированных чистых денежных поступлений (либо сэкономленных средств) в течение прогнозируемого срока и суммой исходной инвестиции.

Формула расчета чистого дисконтированного дохода имеет вид:

$$ЧДД = \sum_{n=1}^N \frac{ДП_n}{(1+d)^n} - \sum_{n=1}^N I_n * (1+d)^n \quad (8)$$

где $ДП_n$ - поступления денежных средств (денежный поток) от реализации инвестиций в n -м году;

d - коэффициент дисконтирования, учитывающий затраты на покрытие инфляционных процессов, изменение стоимости капитала, привлекаемого для реализации инвестиционного проекта. В расчетах принимается равным 12% (по ставке НБУ);

I_n - начальные инвестиции;

N - количество лет реализации проекта.

Затраты на модернизацию котла (начальные инвестиции) составляют 3,4 тыс. грн.

$$ЧДД = \frac{16,4}{(1+0,12)^1} + \frac{16,4}{(1+0,12)^2} + \frac{16,4}{(1+0,12)^3} + \frac{16,4}{(1+0,12)^4} + \frac{16,4}{(1+0,12)^5} + \frac{16,4}{(1+0,12)^6} - \frac{16,4}{(1+0,12)^7} - 3,4 \cdot (1+0,12)^0 = 72,79$$

Критерием эффективности проектов является положительное значение ЧДД. Поскольку $ЧДД > 0$, проект является выгодным для инвесторов.

Выводы

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что сжигание высокозольных углей в низкотемпературном кипящем слое позволяет наиболее эффективно и экономично использовать низкосортные угли, в том числе Донецкого бассейна. Данное решение приведет к уменьшению затрат топлива и материальных ресурсов, уменьшению негативного воздействия на окружающую среду и улучшению качества энергоносителей, отпускаемых потребителю.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сургай, М. С. Вугілля, і тільки вугілля врятує Україну [Текст] / М. С. Сургай // «Економіст». – 2000. - №5. – С. 40-42.
2. Шайхед, О.В. Конструкция топки для сжигания углей в низкотемпературном кипящем слое [Текст] / О.В. Шайхед // Вестник. – 2009.- С.114-117.
3. Баскаков, А. П. Котлы и топки с кипящим слоем [Текст] / А. П. Баскаков, В. В. Мацнев, И. В. Распопов - М. : Энергоатомиздат, 1996. – 352с.
4. Бородуля, В. А. Технология сжигания в кипящем слое и опыт разработки котлов на местных видах топлива для централизованного теплоснабжения. Горение твердого топлива [Текст] / В. А. Бородуля // Сборник докладов VII всероссийской международной конференции. – Новосибирск., 2009.
5. Толмачев, Д. В. Роль и перспектива отдельных энергоносителей в энергетике Украины [Текст] / Д. В. Толмачев // «Экономист». – 2000. - №7 – С. 37-39.

Пчельников В.Н., Дзюба А.В. Актуальність реорганізації деградуючих територій

У даній статті розглянуті проблеми, що виникають через велику кількість раніше освоєних, а на сьогоднішній день деградуючих територій, будівель, споруд. Запропоновано шляхи їх можливого повторного використання. Проаналізовано схожі проблеми та шляхи їх вирішення за кордоном, використання в процесі реорганізації різних методів. Виявлено і обґрунтовано актуальність, а також необхідність впроваджувати у вітчизняну архітектуру тему реорганізації.

Іванова А.П., Чумак А.Н. Оптимальне проектування кроквяної металевої ферми з урахуванням можливих пошкоджень її окремих елементів

Розглянута задача оптимального проектування кроквяної сталевий ферми в програмному комплексі Autodesk Robot Structural Analysis. Врахований вплив експлуатаційних навантажень на конструкцію з ушкодженнями окремих елементів. Отримано оптимальний проект, який враховує, як економію металу, так і зручність монтажу.

Линченко Ю.П. Системний аналіз в автоматизованому проектуванні конструкцій

Розглянуто сучасні проблеми автоматизованого проектування будівель в складних умовах і підготовки фахівців в умовах масового впровадження інформаційних технологій. До вирішення завдань застосовано методи системного аналізу. Подано аналіз деяких об'єктів та рекомендації з проектування та підготовки фахівців. Намічені подальші шляхи розвитку методики автоматизованого проектування.

Линченко Ю.П., Васильев М.В., Белавский В.А. До питання розрахунку опор контактної тролейбусної мережі за розміщення на них рекламних конструкцій

Описано виконання розрахунку несучої здатності опори на основне та аварійне поєднання навантажень з урахуванням геометричної нелінійності проводів контактної мережі тролейбусного транспорту.

Тарабара И.Ю., Чемодуров В.Т. Згинально-крутильні коливання плоскої пластини в потоці повітря

У статті розглянуте питання, пов'язане з руйнуванням висячих мостів під впливом аеродинамічних сил у потоці повітря з різними швидкостями. Найнебезпечнішим наслідком цих сил є накладення згинних і крутильних коливань конструкції, що приводять до явища флаттера. При цьому реальна конструкція мосту моделюється плоскою пластиною з наведеними масою й твердістю реальної схеми. Зусилля підвісу не враховуються.

Любомирський Н.В., Бахтин А.С., Бахтина Т.А., Джелял А.Є. Методологічні основи визначення деформативних характеристик пресованих дисперсних систем на основі вапняків

Проведений аналіз існуючих рівнянь пресування трьохфазних дисперсних систем і визначені рівняння, що найбільш повно описують процес їхнього пресування. Запропоновано удосконалене устаткування для експериментального визначення деформативних характеристик дисперсних систем. Похибка між розрахунковими і дослідними результатами вимірювання середньої щільності зразків, одержаних на удосконаленому компресійному дефометрі при пресуванні прес-порошків вапняку, не перевищує 0,5 %.

Любомирський Н.В. Вплив температури на швидкість примусової карбонізації вапняного каменю напівсухого пресування

Досліджено вплив температури на швидкість карбонізації вапняного каменю напівсухого пресування при його примусовій карбонізації в залежності від різноманітних технологічних факторів. Показано, що максимальна швидкість

карбонізації досягається при температурах до 293 К, з підвищенням температури швидкість реакції карбонізації знижується. Встановлено, що для управління швидкістю процесу взаємодії вапна і вуглекислого газу в карбонізаційних реакторах необхідно передбачувати низькотемпературні зони і відведення води, що виділяється в результаті хімічної реакції карбонізації.

Свищ И.С., Носатова О.В. Вплив виду карбонатних відходів на міцність шлакощелочного бетону на основі рідкого скла з силікатним модулем 1,5...1,7 після ТВО

В статті розглянут вплив карбонатних відходів, як добавки у шлак при сумісному чи роздільному помолі, а також вплив пилевідної фракції в мілкому заповнювачі на міцність шлаколузнього бетону, відформованого по технології вібропресування після ТВО, у терміні 28 діб твердіння в повітрі та у воді.

Свищ И.С., Носатова О.В. Дослідження впливу карбонатних відходів і цеолітів на терміни схоплювання, міцність і якість ШЩВ на основі рідкого скла з силікатним модулем $M_c=1,5-1,7$

У статті розглядаються дослідження впливу карбонатних відходів і цеолітів на терміни схоплювання, міцність і якість ШЩВ на основі рідкого скла з силікатним модулем $M_c=1,5-1,7$.

Абдурахманов А. З. Ефективність використання енергопоглотителя кільцевого типу в сталевих каркасах

На прикладі 15-поверхової будівлі визначається ефективність застосування енергопоглинача кільцевого типу, геометричні параметри якого розраховані за допомогою запропонованої формули. В якості критерію ефективності прийняті витрата металу і трудомісткість виготовлення і зведення.

Дьяков И.М. Дослідження живучості системи «пальове утримує споруда-грунт» при механічних пошкодженнях основи перед палями

На підставі численних експериментів виявлено особливості роботи системи «пальова утримуюча споруда-грунт» при виникненні різних за формою і глибиною механічних пошкоджень ґрунтової основи. Досліджено зміну напружено-деформованого стану паль і пальового ростверку, деформації і напруження в ґрунтовому масиві при виникненні та збільшенні ушкодження. Виявлено фактори, що впливають на живучість системи «пальова утримуюча споруда-грунт» та визначено шляхи її підвищення.

Єфремов А.В. Механізм поведінки зсуву перед і в момент втрати стійкості рівноважного режиму

Описані форми руху зсуву після "перескакування" на інший режим функціонування, сутності і форми катастроф, які виникають у момент втрати стійкої рівноваги і переходи його в активну фазу. Розроблені формули оцінки поведінки зсуву в тривимірному просторі.

Кузьміна Ю.С., Чемодуров В.Т. Оцінка міцності і стійкості циліндричних цистерн з рідким наповнювачем

У статті приводиться короткий огляд причин, що приводять до динамічного навантаження циліндричних корпусів нафтохранилищ. Розроблено моделі реакції циліндричної оболонки на зрушення підстави циліндричного бака й втрату стійкості його оболонки при дії ударної хвилі повітряного вибуху. Обґрунтовується модель руху ґрунту при сейсмічному впливі. Актуальність дослідження диктується забезпеченням екологічної безпеки навколишнього середовища при ушкодженні споруджень, що містять речовин з високою енергонасиченістю.

Шаленний В.Т., Покотило Д.С. Розширення технологічних можливостей алмазного устаткування для різання конструкцій шляхом його монтажу на засобах підмоцвання

Реконструкція, демонтаж будівель і споруд є невід'ємною частиною будівельного процесу. Тому технологічні можливості такого виробництва постійно удосконалюються, з'являються високопродуктивні, менш трудомісткі механізми. Дуже перспективними і ефективними зараз є технології із застосуванням алмазного обладнання. Вивчення технологій алмазного розрізання допомогли виділити ряд переваг, які спричинили удосконалення і розвиток їх технологічних можливостей шляхом використання інвентарних просторових рихтувань та нових затискних пристроїв.

Скокова А. О. Оцінка витрат на виконання робіт із оцінки технічного стану фасадної теплоізоляції цивільних будинків

В роботі представлено результати розрахунку вартості та трудомісткості робіт із обстеження і оцінки технічного стану зовнішньої теплоізоляції будинків із використанням діючих українських нормативних документів. Висунуте припущення, що в середньому вартість робіт із обстеження і оцінки технічного стану теплоізоляції може змінюватись в інтервалі 2 – 18 % від вартості основних будівельно-ремонтних робіт, а трудомісткість їх виконання в середньому не буде перевищувати 2,5 %.

Шаленний В. Т., Капшук О. А. Результати обчислювального експерименту із варіантного проектування технології і організації зведення багатоповерхових каркасних будівель у розбірно-переставних опалубках різних виробників

У статті представлені методика та результати обчислювального експерименту, що проводився у середовищі програмних продуктів Project Manager та АВК-5, з розрахунку техніко-економічних показників влаштування монолітного каркасу трьох багатоповерхових будівель у розбірно-переставній опалубці. Розглянуто три варіанти найбільш поширених в Україні опалубок, що можуть застосовуватися для цих будівель на умовах оренди або купівлі підрядною організацією. Доведено суттєві відмінності отриманих показників тривалості, питомих собівартості та трудомісткості залізобетонних робіт за розглянутими варіантами технологій. Що дозволяє більш обґрунтовано підходити до вибору системи опалубок та умов її використання на конкретному об'єкті.

Булгару М. А., Киримов Б. Е., Ісаєнко О. В. Історія та еколого-технічні особливості обладнання карстових печер Криму для туристичних цілей.

У даній статті наводиться перші згадки про печери Криму. Розповідається про збільшення популярності активного виду туризму, зокрема відвідуванню печер. У зв'язку з цим процесом дається коротка історія обладнання карстових печер Криму для туристичних цілей. Також було розглянуто еколого-технічні особливості, які пред'являються для обладнання печер, як з точки зору безпеки туристів, так і з точки зору збереження печери як природно-ландшафтного комплексу.

Іваненко Т.О., Ветрова Н.М. Технічні рішення берегозахисних споруд для покращення екологічного стану прибережних рекреаційних зон

У статті розглянуті результати дослідження параметрів екологічного стану прибережних територій Західного узбережжя Криму. Проведена оцінка екологічної безпеки існуючих берегозахисних споруд у прибережних рекреаційних зонах з метою подальшого рекреаційного освоєння території Західного Криму . Обґрунтовано варіанти екологічно безпечних технічних рішень для забудови та експлуатації прибережних рекреаційних зон АР Крим .

Чемодуров В.Т., Пшенична-Ажермачева К.С. Моніторинг навколишнього середовища при розробці морських родовищ вуглеводнів

Розглядаються особливості освоєння морських родовищ вуглеводнів, зокрема, на Азово-Чорноморському шельфі України. Показані чинники, які можуть привести до великих негативних екологічних і економічних наслідків. Наведені приклади аварій при здобичі вуглеводнів на шельфі морів. Надаються деякі рекомендації зі зниження ризику при здобичі вуглеводнів з морських родовищ.

Шаленний В.Т., Ковалев А.А., Попов А.Г., Чорна М.Л., Кислиця Л.В. Оцінка небезпечних і шкідливих виробничих факторів при зведенні металевих силосів методом підрошування із застосуванням шевров

Зроблений аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників при монтажі металевих силосів методом підрошування з використанням шеврів. Зроблений перевірений розрахунок монтажного шевра і опорної ферми.

Алієва З.Б., Бекіров Э.А. Розробка і побудова меридіально аналемми для м. Сімферополь

У роботі розглядається спосіб розрахунку та побудови меридіальної аналемми для міста Сімферополь. Побудова меридіальної аналемми необхідно при проектуванні слідкуючих систем, для концентраторів сонячного випромінювання, де потрібно забезпечити високу точність напрямку на Сонце. Розрахунок і побудова меридіальної аналеми необхідний для вибору оптимального кута нахилу сонячних батарей і сонячних колекторів. У роботі також описані основні рівняння для побудови аналемми, описані рівняння часу і схилення.

Атросенко С.Ю. Аеродинамічні дослідження конвективного потоку при його взаємодії з потоком газу закрученого

Теоретично досліджено взаємодія теплового гетерогенного струменю з потоком закрученого газу і відсмоктувачем. Отримана модель руху теплового гетерогенного струменя, взаємодіючого з зовнішнім закрученим потоком і спектром всмоктування з верхньої області. На підставі чого був розроблене спосіб локалізації і віддалення шкідливостей, в якому застосовано локалізувати їх шляхом крутки потоку захисного газу, а віддалення зварювального аерозолу виконувати з створеного конуса обертання.

Калафатов Н., Асанов М. М., Бекіров Э. А. Експериментальне дослідження з визначення теплопродуктивності повітряних геліоколекторів

У роботі наведені результати експериментальних досліджень з визначення теплопродуктивності повітряних геліоколекторів на основі порівняльного методу оцінки теплової потужності, одержуваної з геліоколектора. На підставі цього методу оцінки температур нагрівання геліоколектора від сонячної та електричної енергій отримані осцилограми температур нагрівання геліоколектора від відомої електричної потужності й витрати теплоносія, що дозволяє визначити потужність і енергію геліоколектора.

Богатикова Н.В., Зайцев О.Н. Енергозберігаючі технології при спалюванні газу на пальниках з попереднім змішуванням

У статті наведено результати досліджень процесу прецесії вихрового ядра в закрученому потоці при наявності зони зворотних потоків, отримані теоретичні залежності швидкості руху прецесуючого вихрового ядра, які дозволили уявити область сталого положення вихрового ядра – рівноваги відцентрованих та центрованих сил при наявності зони зворотних токів. Виконана візуалізація процесу при спалюванні газу в інжекційних пальниках при різному ступеню крутки потоку.

Боровський Б.И., Зорін А.М. Використання високого тиску в поліетиленовому газопроводі населеного пункту в сільській місцевості

Встановлено, що вартість сільського поліетиленового газопроводу високого тиску менше сталого газопроводу високого тиску на 44,3%. Це пояснюється меншою ціною поліетиленових труб і зниженою вартістю їх монтажу. При цьому

поліетиленовому газопроводу відповідає менший термін будівництва на 24,1%, менша трудомісткість будівельно-монтажних робіт на 33,2%, нижче термін окупності витрат на 44,1% і більший термін експлуатації в 2,5 рази (50 і 20 років). Поліетиленовий газопровід високого тиску має переваги по вартості в 69,3 і 10% порівняно з поліетиленовими газопроводами при розподільних газових системах низького і середнього тиску, що зумовлено меншими діаметрами труб і, отже, меншою матеріаломісткістю.

Боровський Б.И., Поднебесний С.В. Техніко-економічне порівняння використання традиційних енергоносіїв для опалення в будинкових котлах

Техніко-економічне порівняння використання в котлах різних енергоносіїв показало, що найменші приведені до року витрати відповідають кам'яному вугіллю. Спостерігається наступна послідовність наростання приведених витрат: кам'яне вугілля, дрова, газ, електроенергія та дизельне паливо. Це підтверджує доцільність переходу на вугілля та дрова при зростанні вартості газу. Однак необхідно застосування систем очищення димових викидів. Найбільш зручним є використання електроенергії, однак за комфорт потрібна значна доплата.

Дихтярь Т.В., Визначення складу газу від різних промислових і побутових об'єктів

Визначена кількість газу, що видаляється в дегазаторі залежно від різниці концентрацій газу, що видаляється, у воді і повітрі. В результаті дослідження отримані залежності, які дозволяють пояснити механізм передачі речовини між крапельної та газоподібної фазами в процесі десорбції, які дозволяють з величин, що входять в загальне рівняння десорбції, визначити необхідну поверхню доторканням крапельної та газоподібної фаз щодо забезпечення завданого ефекту дегазації, тобто визначити розмір апаратів, що проектуються.

Климчук О.А., Омеко Р.В., Роговенко О.А. Використання теплоти фазового перетворення для сезонного акумулювання у геліосистемах.

Розглянуто доцільність використання теплоакумуючих матеріалів на основі фазових переходів для сезонного акумулювання тепла геліосистем. Проведено порівняльний аналіз різних теплоакумуючих матеріалів. По матеріалам дослідження зроблено висновок, що найбільш доцільним є використання глауберової солі в якості теплоаккумулюючого матеріала. Однак необхідно враховувати його низьку температуру плавлення, що потребує додаткового обладнання для підвищення температури теплоносія.

Желих В.М., Лесик Х.Р., Кудь О. І. Оцінка сумарного коефіцієнта тепловтрат термосифонного сонячного колектора

Розглянуто теплові процеси, що відбуваються в плоских сонячних повітрянагрівачах. Приведено способи зменшення втрат теплоти в плоских сонячних колекторах. Уточнено методику визначення теплових характеристик пасивного сонячного повітрянагрівача. Визначено теплову потужність та ексергетичний коефіцієнт запропонованого термосифонного геліоколектора. Співставлено отримані результати дослідного повітрянагрівача з характеристиками відомих конструкцій. Результати обчислень представлені у графічному вигляді.

Салієв Э. И. Надійність функціонування систем водопостачання і водовідведення

Наведено одна з головних властивостей надійності систем водопостачання та водовідведення - ремонтпридатність і її характеристики. Була проведена комплексна оцінка критеріїв трубопроводів і значна кількість експлуатаційної та діагностичної інформації, а також альтернативна методика гідравлічного розрахунку трубопроводу, що мають значний знос і пошкодження.

Хван В.С. Циліндричний теплообмінник.

У даній роботі представлений принципово новий , ефективний , компактний теплообмінний апарат , який може бути використаний в системах опалення , вентиляції та кондиціонування повітря .Розроблено теплообмінний апарат у вигляді циліндра , всередині якого розміщені циліндричні перегородки , що мають різні поперечні розміри і однакові розміри по висоті циліндра , вставлені один в одного таким образом , що осі циліндрів збігаються. При цьому циліндричні металеві перегородки всередині апарату не перетинаються , а розташовуються паралельно один до одного. Між сусідніми циліндричними перегородками утворюються порожнини , розміри цих порожнин змінюються . Примикає до корпусу апарату порожнина має найбільший розмір , а в центрі апарату найменший . У парні , по нумерації , порожнини подається високотемпературна середу , наприклад гаряча вода , і в непарні , з нумерації , порожнини подається низькотемпературна середу , наприклад , холодна вода. Подача гарячої та холодної води в теплообмінник , а також висновок охолодженої і нагрітої води з нього здійснюється через спеціальні пристрої , які встановлені всередині апарату.

Шайхед О. Економічна ефективність при спалюванні високозольного палива в киплячому шарі

Проведені розрахунки економічної ефективності при спалюванні високозольного Донецького вугілля в низькотемпературному киплячому шарі (НТКШ) для котлів малої та середньої потужності. Проведений порівняльний варіант розрахунку річної витрати палива для двох видів топок. Підрахований коефіцієнт корисної дії котла при спалюванні низькосортного палива. Розрахований чистий дисконтований дохід.