

Министерство образования и науки Украины  
Национальная академия природоохранного и курортного строительства

# **СТРОИТЕЛЬСТВО И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

Сборник научных трудов

Выпуск 47

## **БУДІВНИЦТВО ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА**

Збірник наукових праць  
Випуск 47

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»  
2013

УДК 69

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 № 4 від 28.11.2013 р.

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

© Національна академія  
природоохоронного та  
курортного будівництва,  
2013

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. екон. наук, Саломатин В.Н., докт. геол.-мин. наук, Сапронова З.Д., канд. геол.-мин. наук, Сіроджа І.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. екон. наук

Утвержден к печати согласно протокола заседания ученого совета НАПКБ № 4 от 28.11.2013 г.

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

© Национальная академия  
природоохранный и  
курортного строительства,  
2013

# СОДЕРЖАНИЕ

## РАЗДЕЛ 1.

### АРХИТЕКТУРА

- Сидорова В.В., Половникова Д.А. Архитектурная колористика в городской среде курортов 5
- Куликов Г.В., Куликов Г.Г. Упругие связи предварительного напряжения мягких оболочек тентовых сооружений 12

## РАЗДЕЛ 2.

### СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ИЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

- Тарабара И.Ю., Чемодуров В.Т. Влияние геометрии тонкостенного стержня на его напряжённое состояние 16
- Шевченко Н.Н., Меннанов Э.М. Анализ нормативных методов расчета металлических конструкций, работающих в условиях циклического нагружения 19

## РАЗДЕЛ 3.

### СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

- Павлуненко Л.Е. Пигменты для бетона: сравнительная характеристика железистоокисных пигментов, реализуемых в Украине 24
- Сироджа И.Б., Федоркин С.И., Любомирский Н.В., Лукьянченко М.А., Зевриев Т.Я. Знаниеориентированная методология обнаружения эмпирических закономерностей структурообразования строительных композитов 29
- Салих Фатиан, Коваль С.В. Влияние повторного введения добавок на реологию и твердение цементного раствора как матрицы бетона 39
- 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  $M_c=1,5-1,7$  43

## РАЗДЕЛ 4.

### ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, МЕХАНИКА И СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ

- Ажермачёв С.Г., Керимов А.Д. Сейсмостойкие фундаменты 50
- Дуванский А.В. Разработка методики учета тектонических нагрузок при расчете тоннелей глубокого заложения 55
- Дьяков И.М. Общие подходы к оценке живучести континуальных подпорных стен 60
- Ковалев А.А. Определение динамических характеристик здания способом единичного скачка 65
- Литвинова Э.В., Литвинов Б.А. Инновационные системы сейсмозащиты зданий и сооружений за рубежом 69

**РАЗДЕЛ 5.**  
**ТЕХНОЛОГИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО И ГРАЖДАНСКОГО**  
**СТРОИТЕЛЬСТВА**

<b>Коннов Н. С. Проблемы капитального ремонта жилого фонда в г. Макеевка</b>	<b>79</b>
<b>Шаленный В.Т., Кислица Л.В. Оценка сравнительной эффективности возможных способов механизации монтажа стальных силосов диаметром 22.15 м методом подращивания</b>	<b>85</b>

**РАЗДЕЛ 6.**  
**ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

<b>Литовченко У. А. Разработка методики комплексной оценки экологической безопасности орошения</b>	<b>92</b>
<b>Павленко А.М., Климов Р.А. Динамические эффекты в неравновесных жидких смесях</b>	<b>97</b>
<b>Редькин В.М. Анализ проблемы загрязнения жаротрубного котла при сжигании смолосодержащего топлива</b>	<b>103</b>
<b>Снегирёв В.С. Контроль стабильности берегов бухт западного побережья крыма с использованием параболического уравнения формы залива</b>	<b>106</b>
<b>Стрежекуров Э.Е., Долгополов И.С., Ковалев А.А., Редькин В.М. Топологоэксергетический метод в решении задач энергосбережения и экологии в теплоэнергетической индустрии</b>	<b>114</b>
<b>Тарасенко В.С., Муровская А.С. Системный подход к оценке экологического состояния урбанизированных территорий приморских городов (на примере г. Феодосия)</b>	<b>118</b>

**РАЗДЕЛ 7.**  
**ВОДООБЕСПЕЧЕНИЕ И ВОДООТВЕДЕНИЕ, ГИДРОМЕЛИОРАЦИЯ,**  
**ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ И ЭНЕРГЕТИКА**

<b>Боровский Б.И., Баранова Г.Н. Техничко-экономическое сравнение распределительного газопровода низкого и среднего давления в населённом пункте сельской местности</b>	<b>124</b>
<b>Перминов И.А. Показатели качества регулирования терморегуляторов системы отопления с применением пропорционального эжекционного терморегулятора</b>	<b>129</b>
<b>Аннотации на украинском языке</b>	<b>135</b>

# РАЗДЕЛ 1. АРХИТЕКТУРА

УДК 711.4.01:7.017.4

Сидорова В.В. аспирант, Половникова Д.А. студентка группы ГС – 531

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

## АРХИТЕКТУРНАЯ КОЛОРИСТИКА В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ КУРОРТОВ

В данной статье рассмотрено одно из современных направлений архитектурной деятельности, а именно, колористические характеристики пространственной среды. Выявлены и обоснованы предложения и рекомендации по созданию гармоничной и оригинальной цветовой концепции в городской среде курортов Крыма с учетом мирового опыта. Проанализированы интересные цветовые решения на примере Ниццы, Кейптауна, Рио де Жанейро, Копенгагена и других курортных городов мира. Внедрение приёмов архитектурной колористики, выявленных в лучших курортных городах мира будет способствовать созданию необходимой яркой атмосферы и преобразованию невзрачной застройки в необычную и привлекательную для туристов.

### Архитектурная колористика, курорт, цвет, освещение

#### ВВЕДЕНИЕ

Архитектурная колористика (от лат. color — цвет, краска) — одно из современных направлений проектно-исследовательской деятельности: поиски колористических характеристик пространственной среды, включающие традиционные особенности и новые композиционные формулы цвета. Архитектурная колористика восходит к трудам по полихромии архитекторов XIX века (Жак Хитторф, Готфрид Земпер) [8].

Цвет - одно из средств архитектурной выразительности. Вместе с формой стремительно растёт значение цвета, и архитектура сегодня является значительно более красочной, чем десять или двадцать лет назад. Отчасти это связано с появлением цветостойких и не требующих обслуживания материалов, усовершенствованных способов создания цвета, таких как новые методы освещения стекла, включая светодиоды.

Это также связано с появлением программируемых медиафасадов, способных изменять форму и цвет, приносить новую динамику в недвижимость, которой по определению является архитектура.

#### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Проблемам цветоведения в архитектуре посвящены труды Алексеева С. С., Стригалева А. А., Келера В., Лукхардта В., Теплова Б.М., Шеварева П.А. и других исследователей [1, 5]. В ходе исследования были проанализированы публикации по использованию цвета в архитектуре, как формообразующего и пространственного элемента, Ефимова А. В. «Колористика города» [3], а также статья Михеева А.Л. «Цвет в архитектуре» [6] на примере современной городской среды. На основе статьи из журнала National Geographic [2] были выбраны несколько лучших курортных городов мира для сравнения их с курортами Крыма. Подробная информация о городах-курортах была взята из интернет-ресурсов [11, 4, 10, 7].

#### ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью работы является обоснование возможности создания гармоничной и оригинальной цветовой концепции в архитектуре курортных городов Крыма.

Для достижения поставленной цели определены следующие задачи исследования:

1. Анализ мирового опыта, в сфере архитектурной колористики, на основе лучших курортных городов мира.
2. Анализ цвета в архитектуре курортных городов Крыма.

3. Сравнение архитектурной колористики мировых курортов с курортными городами Крыма.
4. Разработка предложений и рекомендаций по созданию новой цветовой концепции в городской среде курортов Крыма.

#### **МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ**

Методикой исследования является научный анализ и систематизация полученных данных. Исследование построено путем изучения и систематизации литературных источников, интернет-ресурсов, анализа мирового опыта в сфере архитектурной колористики на примере лучших курортных городов мира.

#### **РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ**

Мода играет важную роль в использовании цвета в архитектуре. Подобно тому, как коричневый, оранжевый и зеленый цвета были популярны в 70-х годах, а лососевый, абрикосовый, бледно-желтый и голубой - в 80-х, новая, значительно более яркая и насыщенная палитра стала популярной со второй половины 90-х годов [3]. Эта палитра занимает своё место рядом с современной модой, предпочитающей показывать материалы в их естественных цветах. Это две стороны одной медали: с одной стороны, сдержанные естественные цвета, а с другой - бросающиеся в глаза цветовые акценты и эффекты. Часто эти два аспекта можно найти в одном и том же здании.

Для многих архитекторов одной из причин использования цвета является его влияние на настроение. Кроме того, цвет часто используется для упорядочения здания в целом, например, делая его почти полностью монохромным или придавая каждой части здания свою индивидуальность. Но самый распространенный способ использования цвета в архитектуре - это его использование не в качестве указательного элемента, а для обеспечения необходимой атмосферы и комфорта [6]. Необходимо отметить, что на восприятие цвета влияют следующие факторы: свет, расстояние и тип поверхности (внешние факторы); фигура – фон, цветовая температура, тяжесть и удаленность цвета (внутренние факторы).

Рассмотрим лучшие курорты мира,- различные по своему географическому положению, а также культуре и колориту.

Ницца - главный город Французской Ривьеры, уютно расположившийся на берегу Бухты Ангелов в предгорьях Альп. Старинный город, с богатыми традициями и роскошным архитектурно-культурным наследием. Столица и культурный центр Лазурного берега, сочетающий в себе динамизм крупного города и шарм морского курорта. Колористика архитектуры Ниццы тесно связана с насыщенной историей этих мест. Так, до середины XVIII века, город развивался в итальянской культурной среде. Влияние этой страны чувствуется повсюду: от выкрашенных в яркие цвета фасадов домов в квартале Старой Ниццы (Рис. 2) до шикарных соборов, церквей и дворцов XVII-XVIII веков в стиле итальянского барокко (Рис. 1) [11].



**Рис. 1. Базилика Нотр Дам**



**Рис. 2. Квартал Старой Ниццы**

Архитектура Ниццы красочна: желтые, оранжевые, терракотовые, красные фасады домов гармонично сочетаются со светлыми тонами роскошных соборов и дворцов, оставляя незабываемые впечатления о городе.

Немаловажную роль играет и освещение: яркие подсветки старинных соборов, церквей и зданий дополняют цветовую палитру города, делая его более современным и необычным в сочетании не совместимых, на первый взгляд, стилей (Рис. 3). К территории Франции Ницца была присоединена лишь в 1860 году, именно с этих пор город и архитектура стали отражать французский образ жизни (Рис. 4) [11].



**Рис. 3. Английская набережная**

Ницца – это город контрастов, город достопримечательностей, смешение множества стилей и эпох, а кроме того, природная красота и потрясающие ландшафты у теплого моря. Городами - близнецами Ниццы считаются Санкт-Петербург и Ялта.



**Рис. 4. Панорамный вид площади Массена**

Южно-Африканская Республика – экзотическая страна для европейцев. Кейптаун – один из самых красивых городов ЮАР, расположенных на юго-западе страны между горами и океаном. Современная архитектура Кейптауна контрастирует с нетронутой природой национальных парков страны. Несмотря на европейский вид, в Кейптауне присутствуют энергетика, своеобразие и национальный колорит многих африканских народов, которые называют его своим домом. В нём элегантные голландские здания граничат с вычурной викторианской архитектурой и величественными британскими памятниками (Рис. 5) [4]. Архитектура Кейптауна на первый взгляд может показаться

монохромной. Однако это не так. Яркие акценты, в виде отдельностоящих цветных зданий, присутствуют здесь повсюду, как на жилых улицах, так и в порту (Рис. 6).



**Рис.5. Набережная Виктории и Альберта**



**Рис.6. Башня с часами в порту**

Одна из самых ярких, в прямом и переносном смысле слова, достопримечательностей Кейптауна носит название Бо-Каап (один из самых старых районов города) (Рис. 7). Его отличительной особенностью являются небольшие двухэтажные дома, выкрашенные в самые разнообразные яркие цвета. Они строились в конце XVIII века и сохранились до наших дней в первозданном виде. Выглядит район очень необычно и красочно [4].

В некоторых городах яркие краски стали визитной карточкой городской архитектуры. В большинстве случаев городские застройки окрашены в серые цвета, усугубляющие наши и без того серые будни. И, как луч яркого света пробиваются сквозь них смелые красочные проекты, разбавляющие однообразную архитектурную гамму яркой палитрой. Причем, «оживлению» порой подвергается не отдельно взятый дом, а целые комплексы, жилые кварталы и даже города, а также ландшафтная архитектура – аллеи, парки и набережные. Этому свидетельствуют такие примеры, как:

1. Бедный район Санта Марта в Рио де Жанейро, Бразилия (Рис. 8),
2. Район Бо-Каап в Кейптауне, ЮАР (Рис. 7),
3. Район Пунда, Виллемстад, остров Кюрасао,
4. Небольшой остров Санторини, Греция (Рис. 9),
5. Деревни Чинкве-Терре, Италия,
6. Город и морской порт Вальпараисо, Чили,
7. Аллея в Копенгагене, Дания (Рис. 10) [9].



**Рис. 7. Район Бо-Каап в Кейптауне**



**Рис. 8. Бразилия, Рио де Жанейро, район Санта Марта**



**Рис. 9. Греция, остров Санторини**



**Рис. 10. Дания, Копенгаген**

Итак, проанализировав интересные и необычные примеры использования цвета и света в архитектуре курортных городов мира, перейдем к рассмотрению курортных городов Крыма. На основании, вышеприведенного анализа, архитектурной колористики мировых курортов, и в ходе исследования данной темы, на примере крымских курортов, разработаем предложения и рекомендации по созданию цветовой концепции в городской среде курортов Крыма.

Ялта – курорт мирового значения, с богатой историей и яркой действительностью. Курортный район Большой Ялты протянулся вдоль Южного берега Крыма от Гурзуфа до Фороса и расположился на берегу бухты, которая прикрыта горами, надежно защищающими курорт от холодных ветров. Именно поэтому климат здесь очень благоприятный для отдыха круглый год [10]. Шикарная центральная набережная имени Ленина, протянувшаяся на несколько километров вдоль Черного моря ничуть не уступает Английской набережной в Ницце. Набережную украшают старинные здания, экзотическое озеленение, множество уютных кафе, баров и ресторанов. Разнообразие церквей, соборов и дворцов придает городу особое звучание и колорит. Однако свернув от центральных улиц, мы попадаем в жилые районы Ялты – ветхие старые жилые постройки, полностью меняющие впечатление о городе (Рис. 11). Учитывая мировой опыт и, не затрачивая много средств и усилий, такие районы можно превратить в достопримечательность города. Достаточно окрасить фасады зданий или отдельные их элементы в яркие цвета, сделать вечернюю подсветку фасадов и добавить немного зеленых насаждений. Яркая архитектура порадует не только жителей курортных городов, но и привлечет большее количество туристов.



**Рис. 11. Жилые дома по ул. Халтурина в Ялте**

Евпатория - не только самый востребованный город Западного Крыма, но и второй по популярности курорт всего полуострова. Стать курортом Евпатории суждено было ещё в конце XIX века и с тех пор она является безусловным и признанным лидером как туристской, так и лечебной отраслей Северо-Западного Крыма [7]. Визитная карточка курортного города – это его набережная, чего нельзя сказать о Евпатории. Набережная имени Горького не несет в себе эстетической красоты: старинные здания, расположенные на ней, такие как мечеть Джума Джамии и собор Святого Николая Чудотворца, в настоящее время заросли зеленью, также мешают их восприятию множество хаотично расположенных разноцветных палаток и киосков (Рис. 12). Для создания целостной архитектурной и цветовой композиции необходимо убрать чрезмерное количество временных сооружений, привести в порядок зеленые насаждения, окрасить фасады зданий в гармоничные цветовые оттенки, сочетающиеся друг с другом, и создать художественную подсветку. В качестве наглядного примера, следует обратиться к старым фотографиям набережной и воссоздать старинный вид (Рис. 13).



**Рис. 12. Набережная имени Горького в настоящее время**



**Рис. 13. Набережная имени Горького (старинная фотография)**

Главной достопримечательностью Евпатории является ее Старый город (Рис. 14). Сами узкие кривые улочки и старинные домики несут в себе атмосферу минувших веков и эту красоту необходимо подчеркивать и в ночное время с помощью правильного цветного освещения, чего в настоящее время нет.

Цветовой палитры освещения не хватает и на набережной Феодосии, что делает ее менее привлекательной для туристов (Рис. 15).



Рис. 14. Квартал Старого города в Евпатории



Рис. 15. Набережная Феодосии

### Выводы

1. Архитектура зданий - только составляющая внешнего вида города. Ночное освещение, городская колористика, "зеленая" архитектура, дизайн малых архитектурных форм – всё это делает город единым организмом, связывая здания разных стилей и эпох. Тема эта практически необъятная. Цвет - свойство формы, что известно из органической природы. Цвет есть выражение внутреннего содержания предмета, и игнорировать его - значит отказываться от важного инструмента создания архитектурной формы.

2. Насущным и актуальным является создание гармоничной и оригинальной цветовой концепции в архитектуре курортных городов Крыма, с учетом создания необходимой атмосферы и комфорта для привлечения туристов. Цветовые акценты застройки способствуют созданию радостного и благоприятного настроения, настраивают на отдых и развлечения. Смена привычной серой застройки городов на яркую архитектуру курортов имеет важное психологическое значение, способное к оздоровлению организма человека. Яркая архитектура обычных жилых кварталов может стать визитной карточкой города.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С.С. Цветоведение для архитекторов / Алексеев С.С., Теплов Б.М., Шеварев П.А. – М.: ГОНТИ, 1938. – 160 с.
2. Грек А.А. Десять лучших курортных городов мира / А.А. Грек // National Geographic. – 2012. - №. 86– С. 54-55.
3. Ефимов А. В. Колористика города / Ефимов А. В. - М.: Стройиздат, 1990 – 272 с.
4. Заметки о Кейптауне: что посетить - культура, архитектура, музеи и храмы [Электронный ресурс] : Тургид по 900+ городам мира. - Режим доступа к статье <http://www.orangesmile.com/destinations/cape-town/culture--1217214.htm>.
5. Келер В. Свет в архитектуре. Свет и цвет, как средства архитектурной выразительности / В. Келер, В. Лукхардт ; пер. с нем. – М.: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1961. – 184 с.
6. Михеев А.Л. Цвет в архитектуре [Электронный ресурс] / Михеев А.Л.// Архитектурный интернет портал Archnest.com. – 2011. - Режим доступа к статье: <http://www.archnest.com/mainpage/blog/3297/>.
7. О Евпатории. Евпаторийский информационный портал Eupatoria.com.ua [Электронный ресурс]. - Режим доступа к статье: <http://eupatoria.com.ua/o-evpatorii>.

8. Строительная энциклопедия. Цвет в архитектуре [Электронный ресурс] : Электронная библиотека. - Режим доступа к энциклопедии Библиотекарь. Ру: <http://www.bibliotekar.ru/spravochnik-181-5/44.htm>.
9. Яркая архитектура. Фоторепортаж [Электронный ресурс]. - Режим доступа к статье: <http://www.adme.ru/dizajn/yarkaya-arhitektura-403055/>.
10. Ялта. Ялтинский информационный портал Yalta-info.com [Электронный ресурс]. - Режим доступа к статье: <http://www.yalta-info.com/ocherk-o-yalte>.
11. Franch Riviera [Электронный ресурс]: интернет сайт о Лазурном берегу Франции. - Режим доступа к статье: <http://www.riviera-on-line.com/index.php/ru/>.

**УДК 624.074.2,624.074.4**

**Куликов Г.В., Куликов Г.Г.**

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

## **УПРУГИЕ СВЯЗИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ МЯГКИХ ОБОЛОЧЕК ТЕНТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ**

В статье приведен способ использования металлических пружин растяжения в качестве упругих связей для предварительного напряжения мягких оболочек тентового сооружения

**преднапряжение мягкой оболочки, упругая связь, пружина растяжения, тентовое сооружение**

### **ВВЕДЕНИЕ. АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ**

Вторая половина XX века характеризуется бурным развитием тентовых сооружений, которые являются быстровозводимыми, мобильными, многофункциональными, различных форм и конструктивных систем.

В современных тентовых сооружениях широко применяется металлический каркас, который может быть плоскостным или пространственным. К плоскостным типам относятся каркасы имеющие конфигурацию арок или рам. Важным фактором применения таких сооружений является предварительное напряжение и включение мягкой оболочки в совместную работу вместе с каркасом, т.е. образование единой системы «каркас-тент».

Существует два способа крепления мягкой оболочки к каркасу – жесткий и при помощи упругих связей. Наиболее простым и распространенным является жесткий способ при котором крепежными элементами являются синтетические тросы или плоские ленты с натяжными устройствами. Но такой способ не всегда обеспечивает требуемое предварительное напряжение мягкой оболочки, со временем в ней накапливаются деформации ползучести, которые приводят к потере предварительного напряжения и провисанию. В этом случае мягкая оболочка не принимает участия в совместной работе с каркасом, она просто «наброшена» на каркас и является погодозащитной. При этом возможно образование водяных и снеговых мешков, значительные ветровые колебания.

Другим способом является крепление мягкой оболочки на опорном контуре при помощи упругих связей, которые преднапрягают мягкую оболочку, включают ее в совместную работу с каркасом. В качестве упругих связей используются металлические пружины растяжения, на что получен патент на изобретение №33824А Украина.МПК E04H 15/34 (2006.01) приспособления для крепления мягкого полотнища к несущей конструкции тентового сооружения [1].

## ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

В настоящее время не существует методики и рекомендаций подбора пружин растяжения в качестве упругих связей крепления мягкой оболочки к металлическому каркасу тентового сооружения. Параметры пружин в конструкции тентового сооружения подбираются исходя из двух взаимопротивоположных требований:

- не допустить возникновения пластических деформаций материала мягкой оболочки;
- не допустить возникновения излишней подвижности мягкой оболочки при воздействии различных нагрузок.

Эти условия ограничивают пружину по жесткости, т.е. для нормальной эксплуатации конструкции она не должна быть слишком жесткой либо слишком податливой. Рациональные параметры пружин и расположение их в конструкции должны подбираться с учетом механических свойств материала оболочки, а также особенностей действующих нагрузок. Как показывают наблюдения, в процессе эксплуатации тентовых сооружений пружина, подобранная по «машиностроительной» методике и работающая в пределах упругости, при резких порывах ветра может приобрести значительные остаточные деформации, но при этом работа всей конструкции не нарушается. Таким образом, реальная работа пружины состоит из рабочего хода (упругой деформации) и пластических деформаций (межвитковых расстояний), которые накапливаются в процессе эксплуатации под воздействием нагрузок

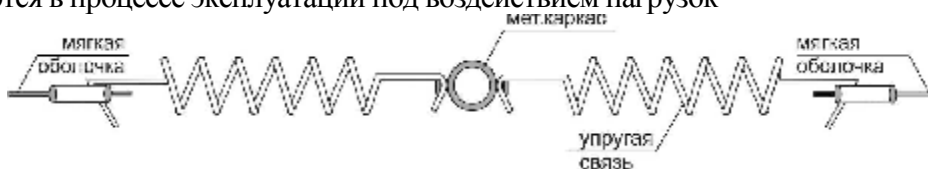


Рис. 1. Установка пружин в качестве упругих связей

Поскольку в справочной литературе описываются только упругие свойства пружин, то задача выявления «упругого» запаса при пластических деформациях пружины, предоставляет практический интерес и требует экспериментального решения.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Для определения влияния остаточных деформаций на работу пружины в качестве упругой связи тентовой конструкции был произведен расчет и испытаны образцы пружины растяжения II класса, 3 разряда (по ГОСТ 13772-68) из проволоки 65Г с параметрами: пружина №13,  $d=3.0$  мм,  $D_n=24$  мм, с силой при максимальной упругой деформации  $P_3=40$  кгс, жесткостью одного витка  $Z_1= 8.746$  кгс/мм и наибольшим прогибом одного витка  $f_3 = 4.574$  мм [2].

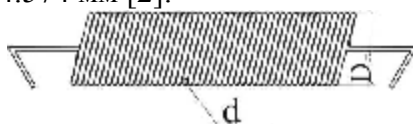


Рис. 2. Пружина упругой связи

Выполнен ряд однофакторных экспериментов, в каждом из которых осевая растягивающая нагрузка  $P$  прикладывается последовательно с шагом нагружения 50 Н до появления пластических деформаций.

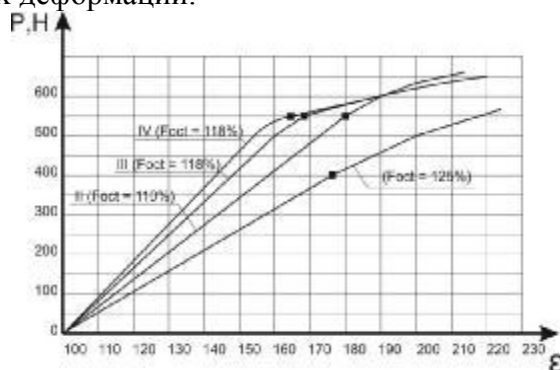


Рис. 3. Изменение упругих свойств пружины при пластических деформациях  
■-граница упругих свойств

Испытания проводились на приборе МИП-1, позволяющем отчетливо фиксировать нагрузку, превышающую упругий предел деформации, которая предоставлена в виде удлинения пружины –  $\epsilon$ , выраженного в процентах от первоначальной длины [7].

После достижения упругого предела и соответствующего ему значения величины остаточных деформаций ( $F_{ост}$ ), цикл нагружений повторялся снова. В результате проведения 4-х циклов (I, II, III, IV) были получены опытные данные, характеризующие изменения механических характеристик пружины при пластических деформациях (рис.3).

Деформации пружины под нагрузкой обусловлены механическими свойствами пружинной проволоки и геометрией самой пружины. Теория расчета пружин весьма подробно изложена в отечественной и зарубежной литературе. Существует множество вариантов расчетных формул, описывающих напряженно-деформированное состояние пружины при ее работе. Наиболее универсальной формулой, учитывающей деформации кручения, изгиба, сдвига и сжатия, является формула *Лекарно* [3]:

$$F = PR_0^3 L \left[ \frac{32 \cos^2 \alpha}{G \pi d^4} + \frac{64 \sin^2 \alpha}{E \pi d^4} + \frac{4 \cos^2 \alpha}{G \pi R_0^2 d^2} + \frac{4 \sin^2 \alpha}{E \pi R_0^2 d^2} \right] \quad (1)$$

где  $\alpha$ - угол наклона витков;  $E$  – модуль упругости материала проволоки;  $G$  - модуль сдвига материала проволоки;  $L$ - длина заготовки;  $R_0$ - радиус витка;  $d$ -диаметр проволоки.

Эта формула описывает зависимость между нагрузкой и деформациями при любых механических параметрах пружины. Накопление пластических деформаций ведет к изменению геометрии пружины - увеличивается межвитковое расстояние и угол наклона витков. Сравнение опытных результатов и значений деформации, полученных по этой формуле, доказывает гипотезу упругой работы пружины после начала пластических деформаций. Таким образом, можно отметить, что:

- при образовании незначительной величины пластических деформаций пружина продолжает упруго работать;
- допустимым пределом величины образования пластических деформаций является отсутствие рабочего хода пружины

Для оценки упругой характеристики пружин используется жесткость:

$$Z = \frac{P}{F} \quad (2)$$

где  $P$  – сила пружины;  $F$ – деформация пружины;  $[Z] = \text{кгс/мм}$  [4, 5].

Эта характеристика применима для упругой работы пружины. Так как при испытании в каждом цикле участвовала пружина с уже измененной длиной, то наиболее объективной оценкой свойств пружины будет жесткость, выраженная через процентное изменение деформации (рис.4).

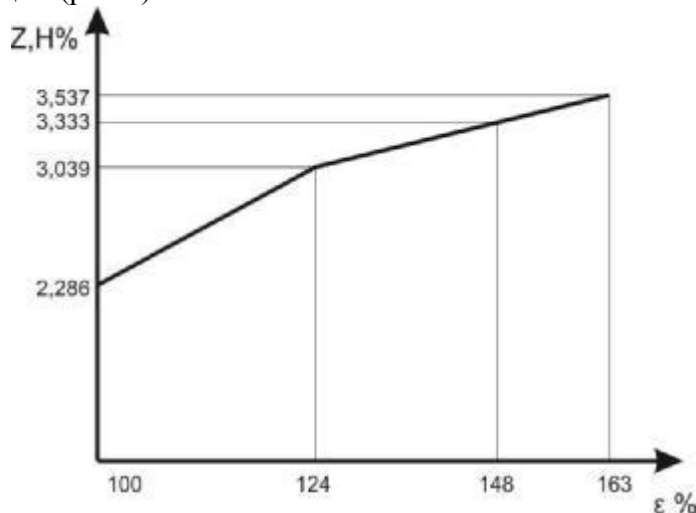


Рис. 4. Жесткость пружины при накоплении пластических деформаций

В машиностроении различаются статический и циклический режим работы пружины (I, II класс по ГОСТ 13772-68). Учитывая эту градацию, характер работы пружины в тентовой конструкции можно рассматривать как статический. Но в процессе эксплуатации сооружения характер воздействия и значения ветровых нагрузок на покрытие нередко передают в узлы конструкции усилия, превышающие расчетные. Поэтому пружина утрачивает свои упругие свойства не в результате многоциклической усталости (как в машинных механизмах), а вследствие накопления остаточных деформаций.

Результаты исследования позволяют применить гипотезу линейного суммирования повреждений [6] к определению допустимого запаса жесткости пружины растяжения как упругой связи конструкции при воздействии непредвиденных нагрузок на покрытие. Граничным значением повреждений является значение остаточной деформации  $[F_{\text{ост}}]$  при которой жесткость пружины и провисание тентового намета уже не удовлетворяют эксплуатационным требованиям. Пусть за время  $T$  эксплуатации сооружения,  $t$  – время действия нагрузок, превышающих предел сопротивления пружины. Тогда весь интервал нагружения разбит на  $k$  отрезков, в пределах которых  $P$  имеет постоянное значение.

Принимая  $n = \sum_{i=1}^k n_i$  – число циклов прикладываемых нагрузок за время  $T$ , при которых  $\frac{P}{P_{\text{пр}}} > 1$  и каждому  $n_i$  соответствует  $P_i$ . Тогда  $\sum_{i=1}^k P_i n_i$  соответствует  $\sum_{i=1}^k F_{\text{ост}i}$ . Очевидно, что конструкция теряет эксплуатационные свойства при

$$\frac{\sum_{i=1}^k F_{\text{ост}i}}{[F_{\text{ост}}]} = 1 \quad (3)$$

#### ВЫВОДЫ

1. Применение пружины растяжения в качестве упругой связи тентовой конструкции не должно допускать пластических деформаций материалов мягкой оболочки покрытия.
2. В конструкции пружина должна работать в упругих границах.
3. Непредвиденные нагрузки должны учитываться допустимым пределом остаточных деформаций, который выражается количественно путем линейного суммирования повреждений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент №33824А Украина.МПК E04H 15/34 (2006.01). Влаштування для кріплення гнучкого полотнища до несучої конструкції/ Г.В. Куликов, Г.Г. Куликов; патентовласник Науково-виробниче кооперативне об'єднання „ТЕНТ” (UA).- № 99042075; заявл. 13.04.1999; Опубл. 15.02.2001, Бил. № 1. – 4 с.
2. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Том 3 / Анурьев В.И. – Москва: Машиностроение, 1978. – 557 с.
3. Навроцкий Г.А. Навивка пружин на автоматах / Г.А. Навроцкий, Е.Г. Белков. – М.: Машиностроение, 1978. – 111 с.
4. Прохоренко И.Ф. Унифицированные пружины растяжения и пружины других типов / Прохоренко И.Ф. – М.: Металлургия, 1985. – 694 с.
5. Бобров А.Г. Рационализация испытаний пружин различных конструкций. (Опыт проектирования Кировского завода) / Бобров А.Г. – Л., 1954 – 138 с.
6. Александров А.В., Сопротивление материалов / Александров А.В., Потапов В.Д., Державин Б.П. – М.: Высшая школа, 2000. – 559 с.
7. Куликов Г.В. Использование пружин растяжения в качестве упругой связи в тентовых конструкциях / Г.В. Куликов, Н.Г. Третьяков // Строительство и техногенная безопасность. – Симферополь: КАПКС. – 2001. – вып. 5. – С. 35 – 38.

## РАЗДЕЛ 2.

### СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ И СООРУЖЕНИЯ

УДК 539.3.(075)

Тарабара И.Ю., Чемодуров В.Т., д. т. н., проф.

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

#### **ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИИ ТОНКОСТЕННОГО СТЕРЖНЯ НА ЕГО НАПРЯЖЁННОЕ СОСТОЯНИЕ**

Приводится анализ напряженно-деформированного состояния тонкостенного стержня открытого профиля в зависимости от изменения его геометрических параметров в условиях несимметричного нагружения. Под геометрическими параметрами подразумевается взаимное расположение плоских стенок стержня.

**Тонкостенный стержень, депланация стержней, свободное и стесненное кручение, бимомент, секториальная площадь, секториальный момент кручения**

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Тонкостенным называют стержень, длина которого значительно превышает поперечные размеры, а последние, в свою очередь, значительно превосходят толщины стенок. При построении расчетной схемы тонкостенного стержня рассматривают его «срединную» поверхность, которая проходит через середину элементов стержня.

Главной особенностью тонкостенного стержня открытого профиля является то, что центр изгиба и центр тяжести сечения не лежат в одной точке, что приводит к вращательному движению сечения стержня вокруг центра изгиба при любой нагрузке. Стесненное кручение стержня в результате его депланации создает дополнительные напряжения к классически рассчитанным напряжениям.

Рассмотрим возможность снижения этих дополнительных напряжений за счет уменьшения плеча центра изгиба путём изменения геометрии профиля тонкостенного стержня.

#### **АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ**

В работе используется современная методика расчёта тонкостенного стержня, схема которого представлена на рис. 1, [3].

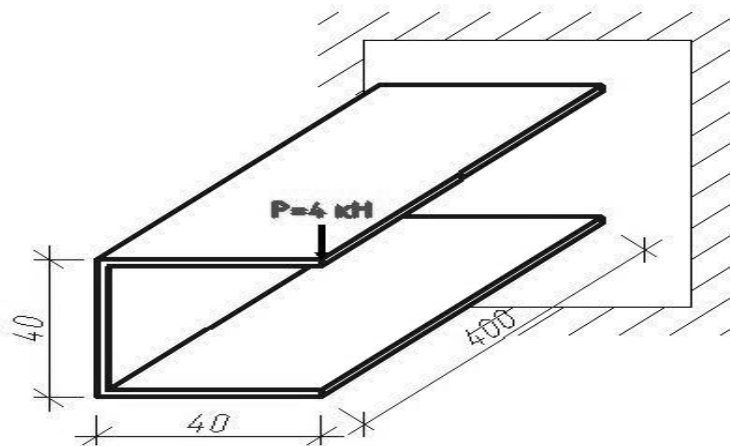
Причём, рассчитываются только нормальные напряжения, как доминирующие в данных видах конструкций. В настоящее время в строительстве использование тонкостенных стержней нашло широкое применение в связи с их высокой несущей способностью при небольшой собственной массе конструкции. В большинстве случаев используются тонкостенные стержни стандартных форм, что может быть не всегда удобным с точки зрения их деформации. В связи с этим, несомненно, актуально рассмотреть вопрос о выборе формы тонкостенного стержня.

#### **ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**

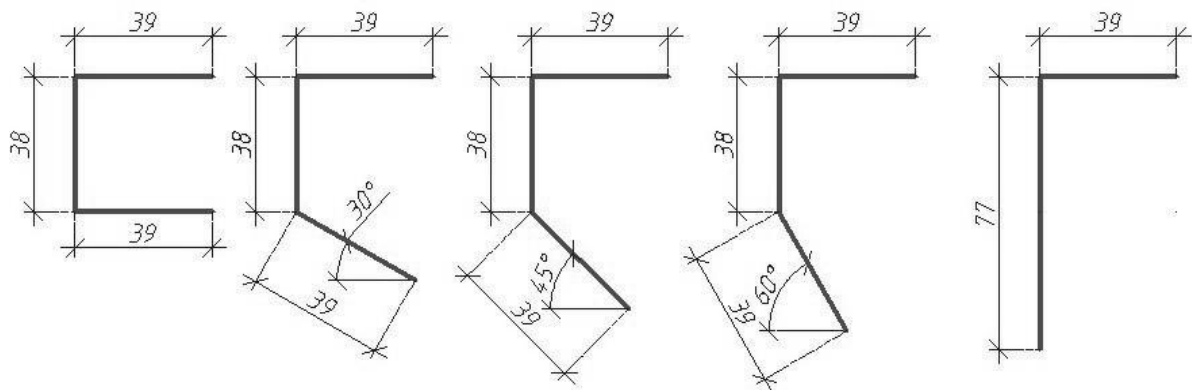
Целью исследования является задача получения зависимости максимальных нормальных напряжений в тонкостенном стержне от изменения форм его профиля.

#### **МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ**

В работе анализируется напряженно-деформированное состояние тонкостенного стержня (рис. 1) при изменении положения только его нижней полки. Формы исследуемых профилей стержня показаны на рис.2.



**Рис.1** Общая схема исследуемого стержня



**Рис.2.** Геометрические формы исследуемого стержня

Методика расчёта нормальных напряжений заключается в следующем:

- 1). Определение геометрических характеристик сечения ( $J_y, J_z$ ).
- 2). Построение предварительной эпюры секториальной площади, выбрав за центральную точку – положение центра масс ( $\omega'$ ).
- 3). Расчёт секториально-линейных статических моментов и определение положения центра изгиба профиля ( $S'_{\omega y}, S'_{\omega z}, y_c, z_c$ ).

$$S'_{\omega y} = \int_A z\omega' dA, \quad S'_{\omega z} = \int_A y\omega' dA, \quad (1)$$

$$y_c = \frac{S'_{\omega y}}{J_y}, \quad z_c = -\frac{S'_{\omega z}}{J_z}. \quad (2)$$

Здесь:  $A$  – площадь поперечного сечения стержня.

- 4). Построение действительной эпюры секториальной площади и определение момента инерции при свободном кручении, секториального момента инерции, а также изгибно-крутильной характеристики ( $J_d, J_\omega, k$ ).

$$J_d = \alpha \sum_{i=1}^3 \frac{h_i \delta_i}{3}, \quad J_\omega = \int_A \omega^2 dA, \quad k = \sqrt{\frac{GJ_d}{EJ_\omega}}, \quad (3)$$

где  $E, G$  – модули упругости первого и второго рода.

- 5). Составление дифференциального уравнения угла закручивания стержня ( $\theta$ ) и расчёт бимоента ( $B_\omega$ ).

$$\theta = \frac{M_{kp0}}{GJ_d} \left\{ \left[ \frac{\text{sh}(kl)}{k \cdot \text{ch}(kl)} - 1 \right] + \left[ 1 - \frac{1}{\text{ch}(kl)} \right] \frac{\text{sh}(kx)}{k} + \left[ x - \frac{\text{sh}(kx)}{k} \right] \right\} \quad (4)$$

$$B_{\omega} = -EJ_{\omega}\theta'' = M_{kp0} \frac{\text{sh}(kx)}{k \cdot \text{ch}(kx)} \quad (5)$$

6). Изгибающий момент от действующей нагрузки ( $M_u$ ) определяется стандартными методами.

$$M_u = F \cdot x \quad (6)$$

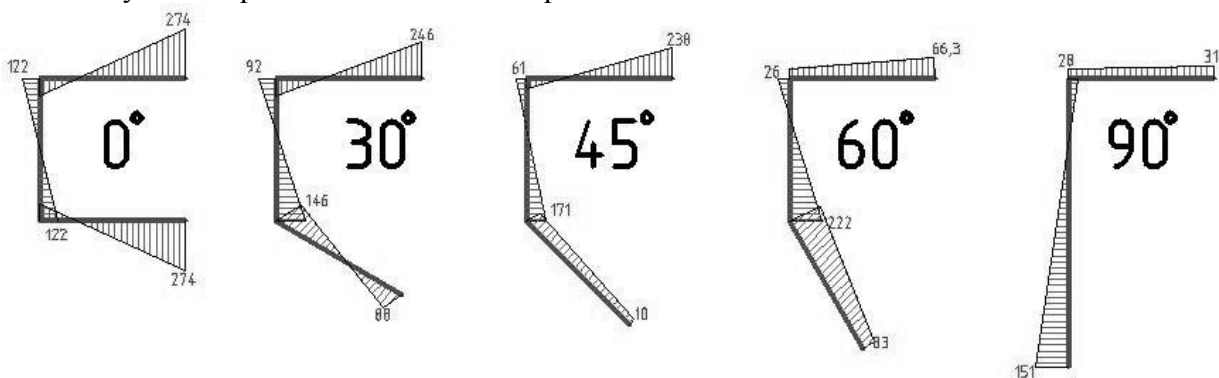
7). Расчёт напряжений изгиба стеснённой деформации и построение суммарной эпюры нормальных напряжений.

$$\sigma_u = \frac{M_u}{J_z} y, \quad \sigma_{\omega} = \frac{B_{\omega}}{J_{\omega}} \omega. \quad (7)$$

$$\sigma_{\Sigma} = \sigma_u + \sigma_{\omega} \quad (8)$$

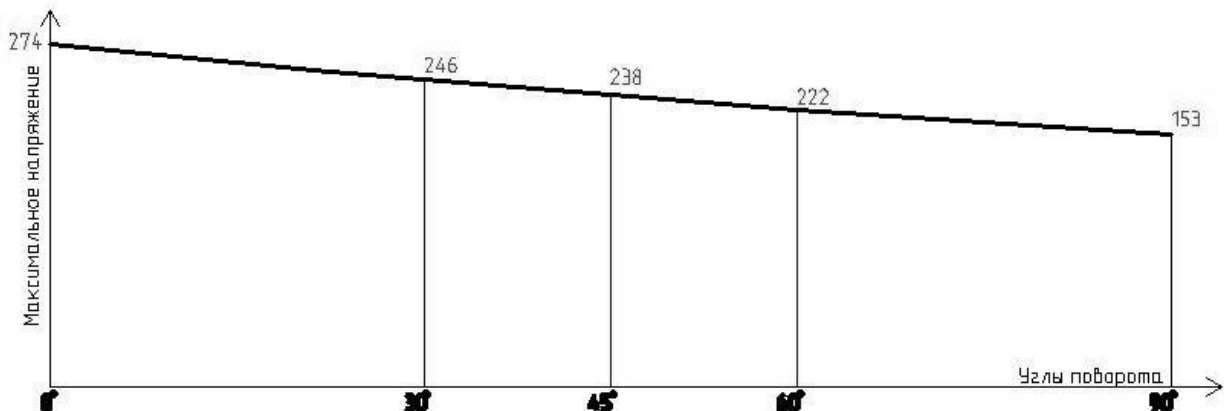
### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ НАЛИЗ

Результаты расчётов показаны на рис. 3.



**Рис.3. Эпюры нормальных напряжений в заделке**

Зависимость максимального нормального напряжения в сечении от угла разворота нижней полки стержня показана на рис. 4.



**Рис.4. Зависимость максимального напряжения от угла поворота нижней планки стержня**

### Выводы

Как показали расчёты, максимальные нормальные напряжения в сечении исследуемого стержня уменьшаются с увеличением угла разворота нижней полки при заданной неподвижной нагрузке. Это снижение происходит за счет сближения центра изгиба с центром масс сечения, уменьшения секториальной площади и бимоента. При этом с увеличением угла отклонения нижней полки стержня происходит перераспределение напряжений с верхней полки стержня и его боковой поверхности на эту нижнюю полку стержня. Этот вопрос требует дополнительного изучения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чемодуров В.Т. Расчет тонкостенных стержней открытого профиля: [Учебное пособие] / В.Т. Чемодуров, В.В. Бабина – Симферополь, НАПКС, 2008.- 32 с.
2. Агапов В.П. Сопротивление материалов [Учебник] / В.П. Агапов – М., «Наука» 2009.- 201с.
3. Беликов Г.В. Основы расчетов прочностной надежности специальных элементов конструкций / Г.Б. Беликов – Ульяновск, 2008.- 55с.

**УДК 620.178.352**

**Шевченко Н.Н., Меннанов Э.М.**

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

### **АНАЛИЗ НОРМАТИВНЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ЦИКЛИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ**

Рассмотрены методы определения числа циклов и допускаемые амплитуды напряжений при жестком и мягком режиме нагружений в отечественных и зарубежных нормативных документах.

**Малоцикловое нагружение, амплитуда нагружений, число циклов нагружений, жесткое нагружение, мягкое нагружение.**

#### **ВВЕДЕНИЕ**

В современных нормах проектирования строительных конструкций [1] рекомендовано для стальных конструкций и их элементов, непосредственно воспринимающих нагрузки с количеством циклов нагружения менее  $10^5$ , применять такие конструктивные решения, которые не вызывают значительной концентрации напряжений, а в необходимых случаях проверять расчетом на малоцикловую прочность, так как материал в локальных зонах при малоцикловом нагружении конструкций деформируется в условиях развитых пластических деформаций.

В настоящее время в машиностроении, энергостроении, химическом машиностроении разработаны методы расчета элементов конструкций на малоцикловую усталость, которые регламентированы соответствующими нормами: отечественными нормами расчета на прочность элементов энергетического оборудования [2, 3, 4] и нормами американского общества инженеров-механиков [5].

В связи с тем, что сопротивление циклическому разрушению в диапазоне чисел циклов от 1 до  $10^5$  определяется величиной деформации (жесткое нагружение), а инженерные расчеты прочности традиционно ведутся по напряжениям, в нормах используются условные упругие напряжения  $\sigma_a$ , равные половине произведения размаха деформаций в зоне концентрации на модуль упругости при соответствующей температуре.

#### **АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ**

Допускаемые числа циклов  $[N]$  или допускаемые амплитуды напряжений  $[\sigma_a]$  определяются по кривым усталости, полученным в результате испытаний лабораторных образцов в условиях жесткого нагружения (постоянные амплитуды деформаций) для трех групп материалов – аустенитных нержавеющей, малоуглеродистых и низколегированных сталей; или по уравнениям, основанным на степенной зависимости Лэнжера [6].

$$[\sigma_a] = \frac{E}{4N_p^{0.5}} \ln \frac{100}{100 - \psi} + \sigma_{-1}, \quad (1)$$

где  $\psi$  – относительное сужение поперечного сечения образца при статическом растяжении, выраженное в %;

$\sigma_{-1}$  – предел выносливости гладкого цилиндрического образца при симметричном цикле растяжения-сжатия.

Первое слагаемое уравнения соответствует амплитуде пластической деформации [7, 8], второе – упругой. На основании уравнения (1) по максимальным значениям амплитуд условных упругих напряжений  $\sigma_a$ , определяемых расчетным или экспериментальным путем для наиболее нагруженных элементов конструкций, может быть рассчитано предельное число циклов нагружения конструкций.

В американских нормах [5] местные деформации в зонах: концентрации напряжений ( условные упругие напряжения ) вычисляются через эффективные или теоретические коэффициенты концентрации напряжений  $\alpha_\sigma$  в предположении, что в процессе упругопластического деформирования они не меняются с числом циклов.

Отечественные нормы расчета на усталость [2, 3, 4], основанные на работах Серенсена С.В., Шнейдеровича Р.М., Махутова Н.А., Гусенкова А.П. и др. [9] учитывают ряд факторов не нашедших достаточного отражения в американских нормах: одностороннее накопление пластических деформаций в процессе циклического нагружения, зависимость сопротивления деформированию и разрушению от исходных механических свойств стали и температуры, влияние асимметрии цикла напряжений и деформаций на долговечность в широком диапазоне чисел циклов. Расчет на малоцикловую усталость согласно норм [2, 3, 4] учитывает возможные схемы нагружения материала в конструкциях, предельными для которых являются жесткое (с постоянной амплитудой деформации) и мягкое (с постоянной амплитудой нагрузки) нагружения.

### ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

Целью настоящей работы – изучение определения числа циклов и допускаемые амплитуды при жестком и мягком режимах нагружения.

Поставленная цель реализовывалась путем решения следующих задач:

- определение подходов и методов отечественных и зарубежных исследователей в данном вопросе;
- сравнение результатов отечественных и зарубежных исследователей.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Математические и теоретические исследования напряженно-деформированного состояния металлических конструкций и их сварных стыков при условии циклического нагружения.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Определение допускаемых амплитуд  $[\sigma_a]$  или чисел циклов  $[N]$  по критерию малоциклового разрушения при жестком нагружении производится с использованием уравнений:

$$[\sigma_a] = \frac{2,3E^t}{n_\sigma \left( 4[N]^m + \frac{1+r^*}{1-r^*} \right)} \lg \frac{100}{100-\psi^t} + \frac{\sigma_{-1}}{n_\sigma \left( 1 + \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_B} \cdot \frac{1+r^*}{1-r^*} \right)}, \quad (2)$$

$$[\sigma_a] = \frac{2,3E^t}{4 \left( n_N [N]^m + \frac{1+r^*}{1-r^*} \right)} \lg \frac{100}{100-\psi^t} + \frac{\sigma_{-1}}{1 + \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_B} \cdot \frac{1+r^*}{1-r^*}}, \quad (3)$$

где  $n_\sigma, n_N$  – коэффициенты запаса по напряжениям и долговечности, принимаются равными  $n_\sigma = 2, n_N = 10$ ;

$r^*$  – коэффициент асимметрии условных упругих напряжений;

$E^t, \psi^t, \sigma_B^t$  – характеристики механических свойств материала при заданной температуре, d

$m_1$  – постоянная материала, зависящая от асимметрии цикла напряжений,

$$m_1 = \left( 1,2 \frac{\sigma_{0,2}^t}{\sigma_B^t} - 0,35 \right) \frac{1-r_\sigma}{2}.$$

Для определения  $[\sigma_a]$  или  $[N]$  при мягком нагружении (с учетом возможного накопления односторонних пластических деформаций) используются выражения:

$$[\sigma_a] = \frac{1,15AE^t}{n_\sigma [N]^{m_1}} \cdot \frac{1-r_\sigma}{2} \cdot (\alpha_\sigma)_{np}^2 \cdot \lg \frac{100}{100-\psi} + \frac{\sigma_{-1}}{n_\sigma \left( 1 + \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_B} \cdot \frac{1+r_\sigma}{1-r_\sigma} \right)}, \quad (4)$$

$$[\sigma_a] = \frac{1,15AE^t}{(n_N [N])^{m_1}} \cdot \frac{1-r_\sigma}{2} \cdot (\alpha_\sigma)_{np}^2 \cdot \lg \frac{100}{100-\psi} + \frac{\sigma_{-1}}{1 + \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_B} \cdot \frac{1+r_\sigma}{1-r_\sigma}}, \quad (5)$$

где  $r_\sigma$  – коэффициент асимметрии по напряжениям;

$(\alpha_\sigma)_{np}$  – приведённый коэффициент концентрации напряжений,  $(\alpha_\sigma)_{np} = \frac{\sigma_a}{(\sigma_a)_{np}}$ ;

$A$  – характеристика материала (параметр диаграммы циклического деформирования,  $A = 1,0 - 3,55$ );

$\psi_B$  – коэффициент равномерного сужения поперечного сечения образца (при напряжениях равных пределу прочности).

Согласно норм за допускаемые следует принимать наименьшие из четырех значений  $[\sigma_a]$  и  $[N]$ , определенных по формулам (1) – (5).

В нормах приведены рекомендации для определения некоторых из указанных параметров. Предел усталости принимается равным  $\sigma_{-0,1}^t = 0,4\sigma_B^t$  при  $400 \text{ МПа} < \sigma_B^t \leq 700 \text{ МПа}$  и  $\sigma_{-0,1}^t = (0,54 - 2 \cdot 10^{-3} \sigma_B^t)$  при  $700 \text{ МПа} < \sigma_B^t \leq 1200 \text{ МПа}$ .

Коэффициент асимметрии условных упругих напряжений  $r^*$  в выражениях (2) и (3) рекомендуется вычислять по формуле:

$$r^* = \frac{(\sigma_{\max} - 2\sigma_a)}{\sigma_{\max}}, \quad (6)$$

где  $\sigma_{\max}$  и  $\sigma_a$  – соответственно максимальное местное условное напряжение цикла и амплитуда местных условных напряжений.

При  $\sigma_{\max} < \sigma_{0,2}$  коэффициенты асимметрии  $r_\sigma$  и  $r^*$  условно принимаются равными, а при  $\sigma_{\max} < \sigma_{0,2}$  или  $|\sigma_{\max} - 2\sigma_a| > \sigma_{0,2}$  коэффициент асимметрии по напряжениям  $r_\sigma$  вычисляются по формуле:

$$r_\sigma = \frac{(\sigma_{0,2} - 2\sigma_a)}{\sigma_{0,2}}. \quad (7)$$

При  $\sigma_a > \sigma_{0,2}$ , если оказывается, что  $r_\sigma < -1$ , то в расчете следует принимать  $r_\sigma = -1$ .

При возникновении в зонах концентрации напряжений упруго-пластических деформаций коэффициент концентрации условных упругих напряжений  $K_\sigma$  в нормах [2, 3, 4] определяется из соотношения Нейбера:

$$K_{\sigma} = \frac{\alpha_{\sigma}^2}{K_{\sigma_{yup}}}, \quad (8)$$

где  $K_{\sigma_{yup}}$  – коэффициент концентрации напряжений в упругопластической области.

Величина  $K_{\sigma_{yup}}$ , входящая в (8), вычисляется по формуле:

$$K_{\sigma_{yup}} = \frac{\sigma_{0,2}}{\sigma_n}. \quad (9)$$

В нормах оговорено, что формула (8) и (9) применима при  $\alpha_{\sigma} \leq 3,5$ .

Необходимо отметить также, что в нормативных документах [2, 3, 4, 7] предусмотрено проведение приемочных испытаний готовых конструкций или их элементов. При этом величина предварительного нагружения должна в 1,25 раза превышать расчетный уровень нагрузки.

При оценке ресурса нестационарность силовых и температурных нагрузок при эксплуатации на различных режимах учитывают [2, 3, 4] на основе линейного суммирования повреждений по формуле:

$$\sum_{j=1}^n \frac{N_j}{[N_j]} = a, \quad (10)$$

где  $N_j$  – число циклов нагружения на  $j$ -том режиме в эксплуатации с напряжениями  $\sigma_{aj}$ ;

$[N_j]$  – допускаемое число циклов нагружения, определяемое по расчетной кривой усталости при уровне напряжений  $\sigma_{aj}$   $j$ -го режима;

$n$  – число режимов нагружения.

Условие прочности при нестационарных режимах нагружения

$$\sum_{j=1}^n \frac{N_j}{[N_j]} = a < a_N,$$

где  $a$  – накопленное усталостное повреждение,  $a$  не должно превышать 1,0 ( $a_N = 1$ ).

## ВЫВОДЫ

1. Предварительная деформация и начальные напряжения оказывают отрицательное влияние на малоцикловую долговечность металлических конструкций.

2. Коэффициенты запаса, рекомендуемые нормами для определения допускаемых величин  $[\sigma_a]$  и  $[N]$ , являются постоянными и не зависят от сроков службы конструкции, режима эксплуатации, дисперсии механических характеристик материала. Между тем известно, что несущая способность элементов в значительной степени зависит от указанных факторов.

3. Известные нормы расчета не полностью отражают реальные условия работы конструкций, следует рассмотреть и проанализировать основные факторы, влияющие на долговечность элементов, подверженных повторному нагружению, а именно:

- влияние предварительной перегрузки на стадии зарождения усталостных трещин;
- закономерности накопления усталостных повреждений и методы обработки процессов нагружения при нерегулярном силовом воздействии.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу: ДБН В.2.6-163:2010. – К.: Мінбуд України, 2011. – 220 с.

2. Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость: ГОСТ 25.502-79\*. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1986. – 34 с.
3. Расчеты и испытания на прочность. Методы расчета характеристик сопротивления усталости: ГОСТ 25.504-82. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1983. – 55 с.
4. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Метод испытаний на малоцикловую усталость при термомеханическом нагружении: ГОСТ 25.505-85. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1986. – 10 с.
5. Нормы американского общества инженеров-механиков. – М.: ЦДНИАТОМИНФОРМ. – 1974. – Вып.4, разд. 3. – 225 с.
6. Лэнджер В.Ф. Расчет сосудов давления на малоцикловую долговечность. Техническая механика / Ленджер В.Ф. // Труды АОИМ. – 1962. – т. 84. – С. 97 – 113.
7. Коффин Л.Ф. Экспериментальное подтверждение обобщенного уравнения для оценки усталости при малом числе циклов / Л.Ф. Коффин, Д.Ф. Тавернелли // Техническая механика. Труды АОИМ. – 1962. – т. 84. – С. 145-156/
8. Manson S.S. Fatigue complex subject - some simpl approximations / Manson S.S. // Experimental Mechanics. – 1965. – N 7. – P. 193 – 226.
9. Прочность при малоцикловом нагружении / Под ред. Серенсена С.В. – М.: Наука, 1975. – 285 с.
10. Правила производства и приемки работ. Металлические конструкции: СНиП III-18-75. – М.: Стройиздат, 1976. – 160 с.

## РАЗДЕЛ 3. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

*УДК 667.622.11*

**Павлуненко Л.Е., к.т.н.**

*Полтавский университет экономики и торговли*

### **ПИГМЕНТЫ ДЛЯ БЕТОНА: СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЖЕЛЕЗООКИСНЫХ ПИГМЕНТОВ, РЕАЛИЗУЕМЫХ В УКРАИНЕ**

Представлен химический состав и некоторые технические характеристики природных и синтетических железистоокисных пигментов отечественного и зарубежного производства, применяемых для окрашивания цемента, используемого при изготовлении цветного бетона, тротуарной и фасадной плитки, малых архитектурных форм, цементно-песчаной черепицы. Проведен анализ основных свойств: красящей способности, укрывистости, маслостойкости, светостойкости, водоцементного отношения. Сделаны выводы относительно экономичности и безопасности железистоокисных пигментов украинских, российских, немецких и китайских производителей.

**железистоокисные пигменты, пигменты для бетона**

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Тенденция использования цветных строительных материалов создает добавочную ценность изделиям из бетона, тротуарной и фасадной плитке, малым архитектурным формам и цементно-песчаной черепице.

Возрастающая потребность ведет к расширению рынка строительных пигментов. В настоящее время на рынке химической продукции Украины предлагается большое количество железистоокисных пигментов, преимущественно зарубежного производства (Германии, Китая, Чехии, Англии, России). Зачастую торгующие организации с целью продвижения своего товара заявляют лишь о положительных свойствах реализуемой продукции, умалчивая о ее недостатках или проводя рекламу своей продукции, умышленно занижают показатели товара-конкурента.

#### **АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ**

Пигменты, используемые для окрашивания цемента, должны легко рассеиваться между мелкодисперсными частицами материалов, а также быть стойкими к природным условиям, прежде всего светостойкими и нерастворимыми в воде, обладать определенной термической и химической стойкостью (к действию солей, слабых кислот и щелочей), что обуславливается их химическим составом. Требования к пигментам, применяемым для окрашивания строительных материалов, зафиксированы в нормативных документах [1-3].

Самым распространенным типом неорганических пигментов, используемых для окрашивания строительных материалов, является окись железа (пигмент железистоокисный).

Неорганические пигменты на ее основе широко распространены, экономичны, долговечны, обладают антикоррозионными свойствами, не оказывают значительного влияния на экологию, безопасны для здоровья. Помимо минеральных (рудных) окисей железа, также используются синтетические.

Синтетические железистоокисные пигменты обеспечивают хорошую насыщенность и равномерность цвета, и, обычно, имеют четыре базовых цвета: желтый пигмент, черный пигмент и два оттенка красного пигмента (с оттенком желтого или голубого). Желтый железистоокисный пигмент также используется в качестве сырья для синтеза синтетического красного железистоокисного пигмента [4-6].

Основанием для проведения исследований послужили противоречивые сведения торгующих организаций о свойствах, реализуемых в Украине железистоокисных пигментов, предназначенных для окрашивания строительных материалов, в том числе и бетона.

Особенно часто реализаторами дорогостоящей продукции европейского производства, проводится ее сравнение с китайскими аналогами, которые, по мнению потребителей, удачно сочетают цену и качество [7].

### **ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ**

Цель проводимых исследований - сравнительный анализ основных технических показателей железистоокисных пигментов отечественных и зарубежных производителей, реализуемых в Украине.

Для реализации поставленной цели решались следующие задачи:

во-первых, рассмотрены химический состав и основные свойства (красящая способность, укрывистость, маслосмолемкость, светостойкость, водоцементное отношение) красных и желтых железистоокисных пигментов;

во-вторых, в процессе обобщения материалов отмечена зависимость между свойствами пигментов и факторами их формирующими.

Объектом исследования являлась продукция пяти предприятий-производителей железистоокисных пигментов.

Производители Украины представлены двумя предприятиями: ПАО «Сумыхимпром» желтый пигмент - Марка Ж-1) и ЗАО «Крымский ТИТАН» (красный пигмент - Марка К-1). Для сравнительного анализа были отобраны пигменты трех зарубежных производителей: Германии (фирма Bayer, марки Bayferrox®: - 110, 130, 503 - красные и 420, 920, 960 - желтые), Китая («JECO PIGMENTS», марки: S110-190 (красные) и S313 (желтый)), России (компания «Ярославский пигмент»).

Следует отметить, что рассматриваемые пигменты относятся к синтетическим, за исключением продукции компании «Ярославский пигмент». Выпускаемые названным российским производителем пигменты являются железистоокисными.

### **МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ**

Соответствие пигментов требованиям нормативных документов подтверждается внутриводским контролем производства и последующей сертификацией уполномоченным органом. В связи с этим, анализ технических характеристик названных выше марок пигментов проводился на основании изучения и обобщения информации, отраженной в сертификатах соответствия.

Поскольку рассматриваемые марки пигментов предназначены для реализации в Украине, за основу были взяты требования к их соответствующим видам, изложенные в действующей на ее территории нормативной документации, а также в европейском стандарте EN 12 878 «Пигменты для окрашивания строительных материалов на цементном и известковом вяжущем».

### **РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ**

Исследуемые показатели технических характеристик желтых и красных железистоокисных пигментов отечественного и зарубежного производства размещены в табл. 1 и 2.

В соответствии с требованиями действующей нормативной документацией, массовая доля соединений железа в пересчете на  $Fe_2O_3$  в образцах железистоокисных пигментов, в зависимости от происхождения и марки, должна находиться в пределах: для желтых пигментов 85-87%, для красных – 93,5 – 97% [1-3].

По названному показателю все образцы соответствуют требованиям действующей нормативной документации. Минимальное количество оксида железа в составе образцов желтых пигментов обнаружено в российской продукции (до 87%), максимальное – в пигментах Bayferrox® (Германия). Содержание  $Fe_2O_3$  в составе образцов красных пигментов выше и в среднем во всех образцах составляет около 96% [8].

Содержание оксида железа косвенно указывает на количество в красителе посторонних примесей (оксидов кварца, алюминия, водорастворимых солей, соединений свинца, меди, мышьяка, цинка и т.п.), которые могут ухудшить параметры окрашенного материала и уменьшить срок его службы.

Дисперсность пигмента влияет на все его основные свойства. Чем меньше частицы (до определенной степени), тем выше укрывистость и красящая способность пигмента [4].

Величина частиц рассматриваемых образцов желтых железистых пигментов колеблется в пределах 0,1–0,8 мкм (табл.1). Самый тонкий помол может быть получен при использовании технологий отечественных и немецких производителей. Следует отметить, что форма зерен у пигментов Bauferrrox® - призматическая, а у пигментов производства «Сумыхимпром» - игольчатая. Однако величина остатка после мокрого просеивания отечественного образца марки Ж-1 составляет 0,3% (табл.1), что соответствует показателям пигмента марки Ж-2 [1], выпуск которой предприятием в настоящее время не производится.

**Таблица 1**

**Технические характеристики желтых железистых пигментов**

Показатели	Фирма - производитель			
	ПАО «Сумы-химпром» Украина	«Bayer» Германия	«JESCO PIGMENTS» Китай	«Ярославский пигмент» Россия
Массовая доля соединений железа в пересчете на Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	86,7	86-87	86	85
Остаток на сите с сеткой №0063, % (не более)	0,3	0,05*	0,3	0,2
Дисперсность, мкм	0,1- 0,8	0,1- 0,7	-	0,25
Укрывистость, г/м <sup>2</sup>	20,0	-	23,3	20,0
Маслоемкость, г/100г пигмента (не более)	35	35- 40	25	35- 60
pH водной суспензии	3,5- 7,0	3,5- 7,5	3,5- 7,0	6,0- 7,0

\* Остаток на сите с сеткой №0045

Частицы красного пигмента имеют сферическую форму и существенно больший разброс дисперсности. Так, частицы немецкого красного пигмента не превышают 0,17 мкм, при этом остаток после просеивания на сите №0045 составляет максимум 0,06%. Дисперсность частиц ярославского красного пигмента может составлять до 30 мкм, а остаток на сите № 0063 - 0,2% (табл.2). Следовательно, для получения одинаковой интенсивности окрашивания изделий, российских пигментов необходимо использовать больше, чем пигментов других производителей.

Необходимо отметить, что в практике зарубежных производителей тонкость помола пигмента после мокрого просева оценивается по остатку в процентах на стандартных ситах с размером ячеек 0,045 мм. Отечественные и российские производители проводят контроль названного показателя, используя сита с размером ячеек 0,063 мм. Чем меньше размер отверстия сита, используемого для определения дисперсности пигмента, тем выше его качество.

Свойство пигмента передавать при смешивании другому материалу свой цвет характеризуется красящей способностью. От нее зависит количество пигментов, которое необходимо добавить в состав, чтобы получить окрашенный материал требуемого цвета и оттенка. Для сравниваемых пигментов трех производителей этот показатель находится в пределах 95-105%, что удовлетворяет современным требованиям к пигментам согласно DIN EN12878 [6]. Немного ниже показатели пигментов, производимых «JESCO PIGMENTS» - 98-102%. Следовательно, расход китайских пигментов будет выше.

Таблица 2

## Технические характеристики красных железистоокисных пигментов

Показатели	Фирма - производитель			
	ЗАО «Крымский ТИТАН» (Украина)	«Вауег» Германия	«JECO PIGMENTS» Китай	«Ярославский пигмент» Россия
Массовая доля соединений железа в пересчете на Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	96,2-96,5	94-97	96,0	96,5 – 97,0
Остаток на сите с сеткой №0063, % (не более)	0,01	0,06*	0,3*	0,2
Дисперсность, мкм	13-15	не более 0,17	0,25-0,35	30
Укрывистость, г/м <sup>2</sup>	6	6	10-13	7
Маслоемкость, г/100г пигмента (не более)	21	25	15-25	50
pH водной суспензии	7	4-8	4-7	6-8

\* Остаток на сите с сеткой №0045

Способность красителя делать невидимым цвет поверхности характеризует показатель укрывистости, выражаемый в граммах. Для немецких пигментов названный показатель составляет около 6 г/м<sup>2</sup>. Для продукции отечественного, российского и китайского производства показатели разнятся в зависимости от цвета пигмента в среднем составляют: для красного пигмента: 6, 7 и 11,5 г/м<sup>2</sup>, а для желтого – 20, 20 и 23,3 г/м<sup>2</sup>, соответственно. Значения рассматриваемых показателей в нормативных документах, действующих в Украине не должны превышать для красных пигментов 7 г/м<sup>2</sup>, а для желтых - 20 г/м<sup>2</sup> [1-3]. Выявленные расхождения свидетельствуют о невысоком качестве продукции «JECO PIGMENTS». В целом, более экономичными могут быть признаны красные железистоокисные пигменты, а в частности - пигменты немецкого производства.

Следующий анализируемый показатель – маслоемкость, характеризующий способность частиц пигмента удерживать на своей поверхности определенное количество масла (от 40 до 100 г) на 100 г пигмента. Поскольку стоимость связующего масла (олифы) обычно выше, чем пигмента, более экономичны пигменты с малой маслоемкостью.

Маслоемкость рассматриваемых красных пигментов в среднем на 10 единиц ниже маслоемкости желтых. Самые высокие значения названного показателя у продукции «Ярославского пигмента»: до 60 г на 100 г пигмента для желтых и до 50 г на 100 г пигмента – у красных. Однако заявленные в сертификате качества показатели находятся в пределах нормы [1,3]. Стабильностью и невысокой маслоемкостью характеризуются китайские пигменты.

Водоцементное отношение является важной характеристикой при производстве цементных изделий. Повышение водоцементного отношения негативно сказывается на таких свойствах бетона, как прочность, пластичность, цветовая насыщенность, время высыхания и твердения, пористость, происходит ухудшение лицевой поверхности изделий. Водоцементное отношение увеличивается за счет наличия примесей, имеющих склонность к набуханию, излишнему диспергированию частиц пигмента и формы его зерен. Так желтые железистоокисные пигменты игольчатой структуры могут абсорбировать большее количество воды на своей поверхности. Но этот эффект проявляется лишь при превышении рекомендуемого уровня пигментирования, т.е. более 4 - 5%.

Наличие в составе китайских и российских пигментов водорастворимых солей и примесей приводит к увеличению воды затворения, а также появлению на поверхности

выцветов и пятен, что ухудшает их поверхностные свойства (за счет повышение пористости, снижение прочности, отшелушивания и т.п.) и отрицательно сказывается на декоративных качествах материала.

В сертификатах соответствия всех производителей заявлена максимальная светостойкость изготовленных ими пигментов - 8 баллов из 8 по шкале BWS. Сертификат на продукцию ПАО «Сумыхимпром» дает потребителям гарантию устойчивости к свету на 30 лет [8].

Данных об атмосферостойкости пигментов нет, по причине умалчивания этих показателей производителями.

Нормативными документами предусмотрено значение рН для желтых пигментов 4-7, для красных – 6-8 единиц [1-3].

Все рассматриваемые марки железистых пигментов производства Германии и Китая, а также желтый пигмент производства ПАО «Сумыхимпром» характеризуются пониженной кислотностью. При выборе пигмента, следует учитывать, что при низком значении рН он вступает в реакцию кислотно-основного взаимодействия с продуктами гидратации портландцемента при его твердении, так как цементное тесто имеет щелочную реакцию среды (рН 9,5-11), что приводит к обесцвечиванию смеси и сокращению времени использования готовой продукции.

### **Выводы**

Приведенные выше результаты исследования позволяют констатировать, что пигменты компании «Вауег» (Германия) по совокупности показателей заслуженно признаны лучшими. По уровню технических характеристик им не уступают пигменты ЗАО «Крымский ТИТАН». Незначительно отличаются по свойствам и пигменты второго отечественного производителя - ПАО «Сумы-химпром». Основные показатели свойств продукции «Ярославского пигмента» также находятся в полном соответствии с требованиями действующих в Украине нормативных документов, однако предполагают больший расход при их использовании

Идентичные по цветовым характеристикам пигменты «JECO PIGMENTS», качественно незначительно отличаются от украинских и российских пигментов, характеризуются такой же интенсивностью окраски и оттенком. Установлено, что пигменты китайского производителя являются менее экономичными, так как обладают более низкой окрашивающей способностью и высоким значением показателя укрывистости, что позволяет предположить больший расход материала. В свою очередь, использование большого количества пигмента, может привести к увеличению доли мелкой фракции, а, следовательно, росту водопотребности бетонной смеси и к ухудшению технологических свойств бетона (снижению прочности, морозостойкости и т.д.). Выявленные недостатки производитель компенсирует более низким уровнем цен.

Основываясь на заключениях, отраженных в сертификатах соответствия, можно утверждать, что рассматриваемые пигменты не являются токсичными и не раздражают кожу и слизистую оболочку человека, а также не наносят вреда организмам, обитающим в водной среде благодаря своей нерастворимости. Однако в китайских и российских пигментах косвенным путем (по содержанию оксида железа) установлено наличие примесей (которыми могут являться соединения свинца, меди, мышьяка, цинка), следовательно, возможно предположить проявление некоторой токсичности по отношению к человеку (например, в виде аллергических реакций).

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Пигмент желтый железистый. Технические условия : ГОСТ18172-80 [Действующий с 01.01.81]. – М. : Издательство стандартов, 1987. – 10 с. – (Межгосударственный стандарт).
2. Пигмент красный железистый : ТУ 2322-166-05011907-98 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.ntcp.ru/work/library/5048/6019>.

3. Пигмент красный железоксидный : ТУ У 6-05766356.034 - 96 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.ntcp.ru/work/library/5048/4487>.
4. Беленький Е.Ф. Химия и технология пигментов / Беленький Е.Ф., Рискин И.В. - Изд-е 4-е перераб и доп. - Л. : Химия, 1987 – 200 с.
5. Пигменты для бетона [Электронный ресурс]. - Режим доступа к статье: <http://www.gis-pigment.com/about/>.
6. Окрашивание бетона [Электронный ресурс]. - Ланксесс Дойчланд ГМБХ, 2008. - Режим доступа к статье: <http://www.geogips.ru/images/pigment/>.
7. Сравнительный анализ пигментов «Bayferrox» (Германия) с пигментами производства Китая по основным характеристикам [Электронный ресурс]. - Режим доступа к статье: <http://www.informes.ru/information/>.
8. Сертификаты соответствия [Электронный ресурс]. - Режим доступа к сертификатам: <http://www.tsvebet.kiev.ua>.

**УДК 519.8 + 666.9**

**Сироджа И.Б. , Федоркин С.И. , Любомирский Н.В. , Лукьянченко М.А. , Зевриев Т.Я.**

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

### **ЗНАНИЕОРИЕНТИРОВАННАЯ МЕТОДОЛОГИЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ЭМПИРИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ**

На основе использования нового концептуального и теоретического базиса инженерии квантов знаний (ИКЗ) в искусственном интеллекте разработана знаниеориентированная методология компьютерного обнаружения эмпирических закономерностей в любых предметных областях путём интеллектуальной обработки экспериментальных данных. Методология впервые успешно применена в исследованиях прочности образцов строительных композитов на основе механоактивированного сырья, активация которого осуществлена воздействием ультразвуковой кавитации. Развёрнуто очередное исследование закономерностей формирования физико-механических свойств карбонизированных материалов на основе извести в зависимости от качества исходных компонентов и технологических факторов процесса карбонизации.

**Эмпирическая закономерность на знаниях, база квантов знаний, активация вещества, структурообразование строительных композитов, ультразвуковая кавитация, карбонизация**

#### **ВВЕДЕНИЕ. АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ**

В работах [1 – 5] по инженерии квантов знаний (ИКЗ) разработана *методология* знаниеориентированного принятия идентификационных и прогнозных решений в комплексных условиях *многокритериальности, неопределенности и риска*. Она определила научный базис построения новых информационных систем (технологий) для решения важной проблемы компьютерного обнаружения эмпирических закономерностей путём интеллектуальной обработки экспериментальных данных с обучением на прецедентах в различных предметных областях [1 – 3, 5]. В отличие от существующих подходов [6 – 8] знаниеориентированная методология использует модели непрерывной и дискретной математики и обеспечивает принятие эффективного решения о наличии либо отсутствии в массиве экспериментальных данных интересующей целевой закономерности  $Y_{ц}$  в аналитической форме  $Y_{ц} = F(X)$ . Эта форма явно отражает причинно-следственное

влияние входных переменных  $X$  (*посылок*) исследуемого процесса на целевой выход  $Y_{ц}$  (*следствие*).

Главной *особенностью* предлагаемой методологии является тот факт, что в режиме машинного обучения по выборочным данным обнаруживается *целевая* эмпирическая закономерность  $F$ , которая одновременно исполняет роль *базы* квантов знаний  $\mathbf{БкЗ} = F$  и *решающего правила* в аналитической квантовой форме алгебры высказываний [1, 2] вида  $Y_{ц} = F(X)$ . Решающее правило  $F(X)$  обеспечивает автоматический *дедуктивный* логический вывод выходной величины  $Y_{ц}$  как *следствия*, вытекающего по закону  $F$  из входных признаков (*посылок*)  $X$  *объекта принятия решений (ОПР)*. В наших исследованиях примерами **ОПР** служат процессы затвердевания бетонов, модификации структуры и формирования свойств строительных композитов на основе механоактивированных сырьевых компонентов. В частности, в роли *искомой целевой* характеристики  $Y_{ц}$  **ОПР** используют *прочность* на сжатие строительного материала, которая зависит от *концентрации* ( $X_1$ ) суспензии сырья, от *мощности* ( $X_2$ ) и *времени* ( $X_3$ ) *ультразвукового* воздействия или карбонизации при производстве композитов.

Закон  $F(X)=\mathbf{БкЗ}$  математически выражается многозначной функцией алгебры логики в дизъюнктивной нормальной форме (**ДНФ**), которая определена на множестве двухзначных квантовых событий [1] предметной области, описываемых переменными  $X$ . Решающее правило в **ДНФ** принимает четыре важных для пользователя значения:  $\mathbf{0}$ ,  $\mathbf{1}$ ,  $Y_{ц}$ ,  $\bar{Y}_{ц}$ . Значение  $F(X) = \mathbf{0}$  означает принятие решения «не знаю» относительно входной ситуации  $X$  и указывает на необходимость дообучения **БкЗ**. Второе значение  $F(X) = \mathbf{1}$  указывает на противоречие входной ситуации с **БкЗ** и требует его устранения. Значение  $F(X)=Y_{ц}$  отвечает принятию решения о «наличии ( $Y_{ц}$ ) целевой закономерности», а  $F(X)=\bar{Y}_{ц}$  – об «отсутствии ( $\bar{Y}_{ц}$ ) целевой закономерности» при анализе входной ситуации  $X$ .

### ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

Цель статьи состоит в кратком изложении сути *знаниеориентированной* методологии машинного обнаружения *идентификационных* и *прогнозных* закономерностей путём компьютерного обучения на примерах предметной области средствами **ИКЗ**, которые адаптированы для исследований структурообразования строительных композитов на основе вторичного механоактивированного сырья. Методология успешно применена впервые для *знаниеориентированного* принятия решений при обнаружении закономерностей структурообразования долговечных строительных изделий с требуемыми свойствами на основе активированных в ультразвуковом поле сырьевых компонентов. Готовится очередное исследование закономерностей изменения физико-механических свойств карбонизированных материалов на основе известной зависимости от качества исходных компонентов и технологических параметров процесса карбонизации.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

#### НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ЗНАНИЕОРИЕНТИРОВАННОЙ МЕТОДОЛОГИИ ОБНАРУЖЕНИЯ ЭМПИРИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ

#### ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Идея **ИКЗ** состоит в новой *формализованной структуризации* данных с их *автоматическим квантованием* для компьютерного восприятия и манипулирования *порциями (квантами)* знаний, как *рассуждениями*, с помощью средств математической логики и теории алгоритмов.

Понятие  *$\delta$ -кванта* знаний ( *$\delta k$ -знания*) определяется аксиоматически как *алгоритмическая структура 0-го, 1-го и 2-го* порядков сложности, которая описывает и реализует конкретное событие в виде продукционного высказывания. Если *квантовому событию* ставится в соответствие *число*, то имеем  *$\delta k$ -знания 0-го* порядка, если – *вектор*

или матрица, то  $\delta k$ -знания имеют 1-й или 2-й порядок сложности соответственно. Символ  $\delta \in \{t, \pi, v, \varphi\}$  служит обобщённым параметром, указывающим на ряд ограничений, определяющих условия  $t$ -,  $\pi$ -,  $v$ -,  $\varphi$ -неопределённости информации об ОПР. При этом значения  $\delta = t, \pi, v, \varphi$  соответствуют определённой комбинации ограничений из следующего списка (1) – (7).

(1) Информация об ОПР *разнотипна* (измерена в количественных и качественных шкалах), *неполна* и получена из разных источников.

(2) Информация о предметной области и ОПР не всегда *достоверна* и *неточна*.

(3) Данные носят преимущественно *статистический* характер с неизвестными законами распределения характеристик ОПР.

(4) Преобладает *лингвистический* (качественный) и *нечеткий* характер описания предметной области и свойств ОПР.

(5) Критерии качества принятия решений заданы *неявно*, неизвестно *количество* и *суть* информативных признаков ОПР.

(6) Неизвестны правила принятия *идентификационных* и *прогнозных* решений, а также *индуктивные* принципы их синтеза.

(7) Невозможно непосредственно построить *правила* принятия решений с помощью имеющихся вычислительных методов.

Условия  $t$ -неопределённости при  $\delta = t$  определяет комбинация ограничений {(1), (5) – (7)}, когда используются *достоверные (точные) t-кванты знаний*, т.е.  $tk$ -знания.

Условиям  $\pi$ -неопределённости при  $\delta = \pi$  отвечает комбинация ограничений {(1), (2), (5)-(7)}, когда показатели достоверности событий оцениваются приближенно и применяются *приближенные  $\pi k$ -знания*.

Аналогично, при  $\delta = v$  и ограничениях {(1), (3), (5)-(7)} выполняются условия  $v$ -неопределённости, при которых используются *вероятностные  $vk$ -знания*. При  $\delta = \varphi$  и ограничениях {(1), (2), (4)-(7)} получаем условия  $\varphi$ -неопределённости с применением *нечётких  $\varphi k$ -знаний*.

Все  $\delta k$ -знания при  $\delta = t, \pi, v, \varphi$  характеризуются тремя *составляющими*: 1) *содержательной* (логический смысл, имя и содержание квантового события); 2) *информационной* (символы и числа) и 3) *процедурной* (алгоритмы для целевой обработки информационной составляющей). Таким образом, на вход *квантового оператора* поступают *посылочные  $\delta k$ -знания*  $X$ , а на выходе формируется *следствие* в виде  *$\delta k$ -знаний* о результате *свершения* квантового события  $F(X) = Y_u$  или его *не свершения*  $F(X) = \bar{Y}_u$ .

Средствами ИКЗ реализуется также алгоритмизация *индуктивного* построения базы  $\delta k$ -знаний (**Б $\delta k$ З**) путём обучения на прецедентах и предназначена для *дедуктивного* вывода искомых решений по наблюдениям.

Изложенная *идея* реализуется на основе общей концептуальной схемы ИКЗ, представленной на рис.1.

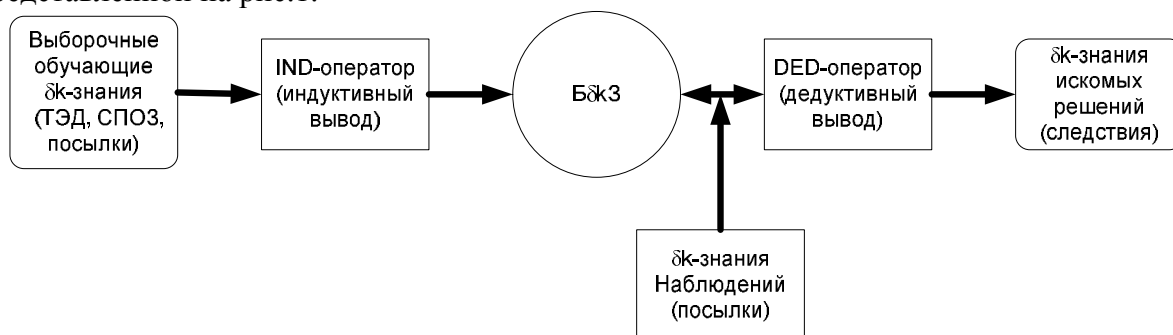


Рис.1. Общая концептуальная схема инженерии квантов знаний

Согласно схеме на рис. 1 с помощью **IND**-оператора [1 – 5] *индуктивно* выводится **БδкЗ**(Z/F) как общая система *импликативных* (Z) и/или *функциональных* (F) закономерностей путём обучения на выборочных **δк**-знаниях в форме таблиц эмпирических данных (ТЭД) и/или сценарных примеров обучающих знаний (СПОЗ) для конкретной предметной области. Посредством **DED**-оператора, *дедуктивно* выводятся искомые решения (*следствия*) по наблюдаемым ситуациям (*посылкам*), опираясь на **БδкЗ**(Z/F), с учётом описанных условий **δ**-неопределённости.

**Определение 1.** *Импликативной* закономерностью (Z) или *запретом r-го* ранга называется устойчивая связь между **r** характеристиками (признаками) **ОПР** из общего числа **n**, ( $r \leq n$ ), выражающая недопустимость хотя бы одной комбинации из  $C_n^r$  их значений на множестве **δк**-знаний, ( $\delta \in \{t, \pi, v, \phi\}$ ). *Запретные* связи названы *импликативными* потому, что они соответствуют *импликации*, т.е. отношению «ЕСЛИ...,ТО...». Например, *запрет Z* ранга  $r = 3$ , может быть задан троичным **6**-мерным ( $N = 6$ ) *вектором* в виде  $Z = x = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6) = (-1 - 0 1 -)$ , что отвечает элементарной конъюнкции  $Z = x_2 \bar{x}_4 x_5$ . *Запрет Z* имеет смысл (*семантику*): «НЕ существует **ОПР**, обладающего признаками  $x_2$  И  $x_5$  И не обладающего признаком  $x_4$ ». Это же утверждение равносильно *импликации*: «ЕСЛИ **ОПР** обладает признаком  $x_2$  И НЕ обладает признаком  $x_4$ , ТО он НЕ обладает и признаком  $x_5$ », которая представляется формулой:  $Z = x_2 \bar{x}_4 \rightarrow \bar{x}_5$ .

**Определение 2.** *Функциональной* закономерностью (F) *r-го* ранга на **δк**-знаниях, называется устойчивая связь между **r**, ( $r \leq n$ ) признаками **ОПР** и некоторым ( $r + 1$ )-м признаком, позволяющая по значениям признаков-аргументов, однозначно определить значение признака-функции. Понятие устойчивости связей базируется на статистических представлениях [4].

Отличие связи (Z) от связи (F) состоит в том, что при *функциональной* связи значения некоторых признаков-аргументов всегда определяет значение другого признака-функции, а при *импликативной* связи – только при *допустимых* комбинациях значений исходных признаков-аргументов.

Математические средства **ИКЗ**, в отличие от других интеллектуальных технологий, обеспечивают принятие решений в комплексе условий многокритериальности, интервальной ( $\delta = t, \pi$ ), статистической ( $\delta = v$ ), а также нечёткой ( $\delta = \phi$ ) неопределённости и риска. *Эффективность* принимаемых решений с помощью **БδкЗ**(Z/F) применительно к системному **ОПР**, оценивается величиной минимального риска *ошибочных* решений на контрольных ситуациях с помощью внешнего критерия *эффективности* решений  $K_3$  в данной предметной области [4, 5].

#### **ОЦЕНИВАНИЕ АДЕКВАТНОСТИ ОБЪЁМА ВЫБОРОЧНЫХ ОБУЧАЮЩИХ Δк-ЗНАНИЙ ДОСТОВЕРНОСТИ ИСКОМЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ В ВИДЕ ИМПЛИКАТИВНОЙ БΔкЗ(Z) И ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ БΔкЗ(F)**

Оценивание *адекватности* объёма ( $m \times N$ ) обучающих **δк**-знаний в ТЭД =  $T_B(m, N)$  достоверности индуктивно синтезируемых по ТЭД базам **БδкЗ**(Z/F) эмпирических *импликативных* (Z) или *функциональных* (F) закономерностей сводится к определению такого количества **m** наблюдений за **ОПР**, числа **N** их признаков и числа **r** (*ранга*) связанных зависимостью признаков, ( $2 \leq r \leq N$ ), при которых гарантированно достигаются требуемые *достоверности*  $P_Z$  и  $P_F$  гипотез о существовании *импликативных* и *функциональных* связей *r-го* ранга во множестве  $T_r$  *реальных* объектов, судя по случайно выбранным из  $T_r$  объектам ТЭД в малом объёме ( $m \times N$ ).

В ИКЗ [1, 2, 4] имеются доказанные **теоремы 1 и 2**, которые обосновывают и определяют конкретные формулы для вычисления *достоверностей*  $P_Z$  и  $P_F$  гипотез о *существовании* закономерностей  $r$ -го ранга в виде **БдкЗ(Z/F)**.

**Теорема 1.** Пусть существованию *имплицативной* (запретной) связи  $r$ -го ранга между некоторыми признаками **ОПР** отвечает событие  $Z(\mathbf{m}, \mathbf{N}, \mathbf{r})$ : «некоторые интервалы  $r$ -го ранга в множестве  $T_r \subseteq B^N$  не пересекаются с обучающей  $TЭД = T_B(\mathbf{m}, \mathbf{N})$ , т.е. отсутствуют в ней как запретные». Тогда оценка  $D_Z$  *достоверности*  $P_Z$  гипотезы о существовании *запретных* закономерностей  $r$ -го ранга в  $T_r$  определяется из интервала  $[0,1]$  величиной  $M_Z\{\mathbf{m}, \mathbf{N}, \mathbf{r}\}$  математического ожидания числа *запретов*  $r$ -го ранга, обнаруженных в  $TЭД = T_B(\mathbf{m}, \mathbf{N})$  для оценивания *вероятности*  $P_Z(\mathbf{m}, \mathbf{N}, \mathbf{r})$  события  $Z(\mathbf{m}, \mathbf{N}, \mathbf{r})$  при допустимом пороге  $M_Z^*$  величины  $M_Z \leq M_Z^* = 10^{-2}, 10^{-3}, 10^{-4} \dots$ . Гипотеза принимается, если выполняется неравенство:

$$D_Z = M_Z\{\mathbf{m}, \mathbf{N}, \mathbf{r}\} = \frac{N! \cdot 2^{r(1-m)} \cdot (2^r - 1)^m}{r! \cdot (N - r)!} \leq M_Z^* ; \quad 2 \leq r \leq N. \quad (1)$$

Величина  $M_Z\{\mathbf{m}, \mathbf{N}, \mathbf{r}\}$  (1) в области *малых* ее значений из  $[0,1]$  ограничивает сверху величину вероятности  $P_Z(\mathbf{m}, \mathbf{N}, \mathbf{r})$  события  $Z(\mathbf{m}, \mathbf{N}, \mathbf{r})$ .

**Теорема 2.** Пусть проявлению *функциональной* связи  $r$ -го ранга между некоторыми признаками **ОПР** в пространстве  $T_r \subseteq B^N$  отвечает логическая сумма простых связей как сложное событие  $F(\mathbf{m}, \mathbf{N}, \mathbf{r})$ : «в обучающей  $TЭД = T_B(\mathbf{m}, \mathbf{N})$  обнаружена хотя бы одна *функциональная* связь  $r$ -го ранга из совокупности простых событий о том, что некоторые строки имеют *одинаковые* комбинации значений в  $r$  столбцах-аргументах и *одинаковые* значения в  $(r+1)$ -м столбце-функции», Тогда искомая оценка  $D_F$  *достоверности*  $P_F$  гипотезы о существовании *функциональных* закономерностей  $r$ -го ранга в  $T_r$  определяется из интервала  $[0,1]$  величиной  $M_F\{\mathbf{m}, \mathbf{N}, \mathbf{r}\}$ , равной сумме вероятностей отдельных простых событий, обнаруженных в  $TЭД = T_B(\mathbf{m}, \mathbf{N})$  для оценивания *вероятности*  $P_F(\mathbf{m}, \mathbf{N}, \mathbf{r})$  события  $F(\mathbf{m}, \mathbf{N}, \mathbf{r})$  при допустимом пороге  $M_F^*$  величины  $M_F \leq M_F^* = 10^{-2}, 10^{-3}, 10^{-4}$ . Гипотеза принимается, если выполняется неравенство:

$$D_F = M_F\{\mathbf{m}, \mathbf{N}, \mathbf{r}\} = \frac{N! 2^{(2^r - m)}}{r! (N - r - 1)!} \leq M_F^* ; \quad 2 \leq r \leq N. \quad (2)$$

Таким образом, *знаниеориентированная* методология обеспечивает эффективный синтез с обучением на прецедентах **БдкЗ(Z/F)**, как системы искоемых *имплицативных* (Z) и *функциональных* (F) закономерностей ранга  $r$ , ( $2 \leq r \leq r_{max}$ ), при любых условиях  $\delta$ -неопределённости, ( $\delta \in \{t, \pi, \nu, \varphi\}$ ), если выполняются неравенства (1) и (2), которые гарантируют *адекватность* используемого *объёма* ( $\mathbf{m} \times \mathbf{N}$ ) обучающей  $TЭД$  для получения требуемой величины ранга  $r$  в **БдкЗ(Z/F)**.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

На кафедре технологии строительных конструкций и строительных материалов с участием кафедры экономической кибернетики НАПКС проводятся научно-экспериментальные исследования структурообразования строительных композитов на основе активированных в ультразвуковом поле сырьевых компонентов. Наблюдаемые экспериментальные ситуации представляются *точками* пространства состояний активизируемой *суспензии* как системного **ОПР** и фиксируются в *числовой*  $TЭД = T(\mathbf{m}, \mathbf{n})$  в виде  $\mathbf{m}$  векторов  $X_i = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ , ( $i=1, 2, 3, \dots, m$ ) с указанием  $(n-1)$ -го значения *посылочных* признаков и  $n$ -го *целевого* признака **ОПР**.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Задана исследуемая числовая таблица эмпирических данных (ТЭД)  $T(m,n)$ , которая включает  $m = 45$  наблюдений,  $n = 5$  измеряемых признаков объекта принятия решений и содержит данные о наблюдаемых ситуациях ультразвуковой обработки известняка-ракушечника. В качестве *посылочных* признаков рассматриваются:  $x_1$  – «время обработки ультразвуком, с»,  $x_2$  – «концентрация суспензии, % мас.»,  $x_3$  – «мощность генератора ультразвука, %»,  $x_4$  – «температура суспензии, °С», которые влияют на изменение *целевого* признака ОПР  $x_4 = x_5$  – «прочность на сжатие полученного материала после ультразвуковой активации суспензии». Допустимая величина нижнего порога *прочности* устанавливается экспертами либо нормативными документами. Заданы *допустимые* пороги *эффективности*  $K_9^{доп}$  как величины риска принятия *ошибочного* решения на контрольных ситуациях и *адекватности*  $M_Z^*$ ,  $M_F^*$  искомым баз **Бtk3(Z/F)** относительно состоятельности обнаруженной *эмпирической* закономерности в форме **Бtk3(Z/F)**.

**Требуется**, используя заданную ТЭД= $T(45,5)$ , *индуктивно* обнаружить эффективную обобщённую *эмпирическую* закономерность **Бtk3(Z/F)** относительно *целевого* признака  $x_5$  и оценить её *эффективность* по критерию  $K_9$  на *ситуациях* заданной контрольной выборки  $T_k(m_k, n_k)$ . Для простоты, но без потери общности, эксперимент проводится при условиях *t*-неопределённости ( $\delta=t$ ) данных с использованием точных *tk*-знаний.

### ЗНАНИЕОРИЕНТИРОВАННАЯ МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОБНАРУЖЕНИЯ ЭМПИРИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ

Методика решения поставленной задачи базируется на изложенной выше *знаниеориентированной* методологии и реализуется посредством выполнения следующих основных действий Д1 – Д4 [1, 2].

**Д1.** Преобразовать *числовую* ТЭД= $T(45,5)$  (см. табл. 1), в *булеву* ТЭД  $T_B(m, N)=T_B(45, 12)$ , (см. табл. 2), руководствуясь алгоритмизацией в [1].

**Д2.** Используя обучающую *булеву*  $T_B(m, N)=T_B(45, 12)$ , с помощью *индуктивного* **tINDZ**-оператора (3):

$$\begin{aligned} & \mathbf{tINDZ} [T_B(m, N); A_Z; \mathbf{tАЛОБУЧ}; \mathbf{tАЛАКВА}; \mathbf{tАЛОПТ}], \mathbf{Btk3}(Z) ] = \\ & = tk_2 T_B \xrightarrow{A_Z, \mathbf{tАЛОБУЧ}, \mathbf{tАЛАКВА}, \mathbf{tАЛОПТ}}^{\mathbf{tINDZ}} tk_2 \bar{\Sigma}_Z. \end{aligned} \quad (3)$$

вывести в режиме обучения *импликативную* закономерность  $\mathbf{Btk3}(Z)=tk_2 \bar{\Sigma}_Z$ , а посредством **tINDF**-оператора (4):

$$\begin{aligned} & \mathbf{tINDF} [T_B(m, N); A_F; \mathbf{tАЛОБУЧ}; \mathbf{tАЛАКВА}; \mathbf{tАЛОПТ}], \mathbf{Btk3}(F) ] = \\ & = tk_2 T_B \xrightarrow{A_{ZF}, \mathbf{tАЛОБУЧ}, \mathbf{tАЛАКВА}, \mathbf{tАЛОПТ}}^{\mathbf{tINDF}} tk_2 \Sigma_F. \end{aligned} \quad (4)$$

аналогично получить *функциональную* закономерность  $\mathbf{Btk3}(F) = tk_2 \Sigma_F$  для *целевого* признака  $X_{12}=X_{11}$  – «прочность на сжатие» строительного материала после *ультразвуковой активации* суспензии.

**Д3.** Оценить *эффективность* найденных *закономерностей* **Бtk3(Z/F)** по внешнему критерию  $K_9$  на *ситуациях* контрольной выборки  $T_k(m_k, n_k)$  [1, 5] посредством использования соответствующих **tDEDZ**-оператора *дедуктивного* вывода из **Бtk3(Z)** *импликативного* результата  $tk_s R_w^Z$  (5):

$$\begin{aligned} & tk_s R_w^Z = \mathbf{tDEDZ} [\mathbf{Btk3}(Z), tk_1 Y_w; \mathbf{tАЛ}(Z); \mathbf{tАЛАКВА}(Z); \mathbf{tАЛУПР}]; tk_s R_w^Z ] = \\ & = \mathbf{Btk3}(Z) \xrightarrow{tk_1 Y_w; \mathbf{tАЛ}(Z); \mathbf{tАЛАКВА}(Z); \mathbf{tАЛУПР}}^{\mathbf{tDEDZ}} tk_s R_w^Z. \end{aligned} \quad (5)$$

и **tDEDF**-оператора для вывода из **Btk3(F)** функционального результата  $tk_s R_w^F$  (6):

$$tk_s R_w^F = tDEDF [Btk3(F), tk_1 Y_w; tAJ(F); tAJAKBA(F); tAJUJP; tk_s R_w^F] =$$

$$= Btk3(F) \xrightarrow{tk_1 Y_w; tAJ(F); tAJAKBA(F); tAJUJP} tk_s R_w^F. \quad (6)$$

**Д4.** Выполнить протокольное оформление результатов оценивания *эффективности* принимаемых решений  $tk_s R_w^Z$  (5) и  $tk_s R_w^F$  (6) в квантовом виде о признании **Btk3(Z/F)** состоятельными обобщёнными эмпирическими закономерностями относительно *целевого* признака **ОПР** в графическом и аналитическом представлении с компьютерной реализацией фактов *индуктивного* и *дедуктивного* вывода искомых  $tk_s$ -знаний (порядок  $s = 0, 1, 2$ ).

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЗНАНИЕОРИЕНТИРОВАННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ЭМПИРИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ АКТИВАЦИИ СЫРЬЕВЫХ КОМПОНЕНТОВ**

Руководствуясь действиями **Д1 – Д4** предложенной методики, опишем новые результаты решения поставленной задачи экспериментальных исследований *структурообразования* строительных композитов на основе активированных в ультразвуковом поле сырьевых компонентов. Исходная *числовая ТЭД*  $T(45,5)$  (см. табл. 1) содержит данные о параметрах ультразвуковой обработки известняка-ракушечника:  $x_1, x_2, x_3$  и  $x_4$ , как о *посылочных* признаках, влияющих на изменение *целевого* признака  $x_u = x_5$  – «прочность на сжатие» материала после ультразвуковой активации суспензии. *Числовая*  $T(45,5)$  обеспечивает возможность построения графиков *эмпирических зависимостей* между *целевым* признаком и отдельными *посылочными* признаками. Например, на рис. 2 видны изменения величины прочности на сжатие материала  $x_5$  от времени ультразвуковой обработки суспензии  $x_1$  при постоянной 100 % *мощности* обработки  $x_3$  и конкретных значениях концентрации суспензии  $x_2$ .

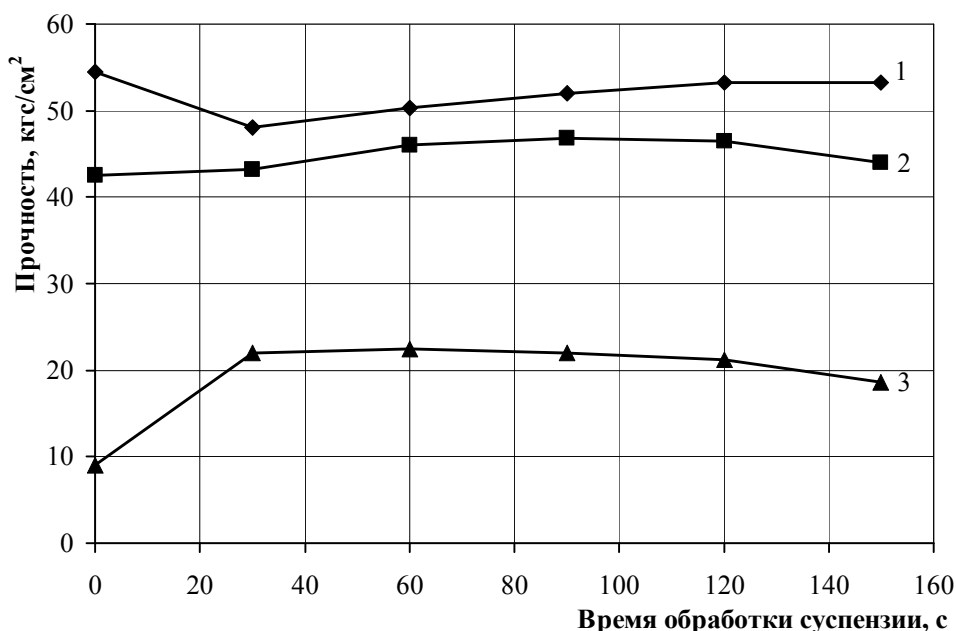
**Таблица 1**

**$T(m,n)$  – исходная *числовая ТЭД*  $T(45,5)$ , полученная в результате ультразвуковой активации известняка-ракушечника**

№ пробы	Параметры обработки известняка			Параметры суспензии	Параметры гипсоизв. теста
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_u = x_5$
	Время обработки	Концентрация суспензии,	Мощность ультразвукового аппарата, %	Температура суспензии	Прочность на сжатие, кгс/см <sup>2</sup>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
1	30	50	50	14,2	44,8
2	30	50	75	17,2	46,8
3	30	50	100	17,6	45,7
4	30	60	50	16	41,3
5	30	60	75	18,9	43,4
...	...	...	...	...	...
15	60	60	100	30,5	43,2
16	60	70	50	19,7	22,1
17	60	70	75	24,7	23,2
18	60	70	100	27,3	21,1
19	90	50	50	27	52,3
20	90	50	75	34,2	52,4
21	90	50	100	38,8	49,2
...	...	...	...	...	...
45	150	70	100	54,9	12,6

Судя по «верхнему» расположению пары графиков на рис. 2 при концентрации суспензии  $x_2=50\%$  и  $x_2=60\%$  для любой мощности ультразвука  $x_3=100\%$ , значения **целевого** признака  $x_{12} = x_5$  принадлежат только **допустимому** интервалу. Значения **недопустимого** интервала изменения  $x_{12}$  наблюдаются лишь при  $x_2=70\%$  концентрации суспензии.

Для проведения формального **логического** анализа необходимо перейти от **числовых** данных к **логическим** путём преобразования **числовой** ТЭД  $T(m, n)$  в **булеву** ТЭД  $T_B(m, N)$  (см. табл. 2). Это выполняется на основе использования предикатов:  $P_1(30) \equiv 1, P_2(60) \equiv 1, P_3(90) \equiv 1, P_4(120) \equiv 1, P_5(150) \equiv 1$  для признака  $x_1$ ;  $P_6(50\%) \equiv 1, P_7(60\%) \equiv 1, P_8(70\%) \equiv 1$  для признака  $x_2$ ;  $P_9(50\%) \equiv 1, P_{10}(75\%) \equiv 1, P_{11}(100\%) \equiv 1$  для признака  $x_3$ . Признак  $x_4$  не информативен относительно **целевого** признака  $x_5$  в виду отсутствия представительных интервалов **посылочных** значений.



**Рис. 2.** Изменения величины прочности на сжатие ( $x_{12}$ ) материала от времени ультразвуковой обработки суспензии ( $x_1$ ) при постоянной 100% мощности обработки ( $x_3$ ) и фиксированных значениях концентрации суспензии ( $x_2$ ), %: 1 – 50, 2 – 60, 3 – 70

**Таблица 2**

Булева ТЭД  $T_B(m, N) = T_B(45, 12)$  для 12-мерного пространства признаков ОПР относительно прочности материала на основе активированного известняка

№ пробы	Время обработки ультразвуком, $x_1$ , с					Концентрация суспензии, $x_2$ , % мас.			Мощность ультразвукового воздействия, $x_3$ , %			Прочность $x_5$		Интервал прочности
	$P_1$ (30)	$P_2$ (60)	$P_3$ (90)	$P_4$ (120)	$P_5$ (150)	$P_6$ (50)	$P_7$ (60)	$P_8$ (70)	$P_9$ (50)	$P_{10}$ (75)	$P_{11}$ (100)	Целевой признак		
	посыл. признак $X_1$					посыл. признак $X_2$			посыл. признак $X_3$			$P_{12}$ ( $X_{12}$ )	Число	
	$X_4 = X_{11}$													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	12,6	
2	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	16,5	
3	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	17,9	
4	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	19,5	
5	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	19,9	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
15	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	23,2	

16	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	39,1	Допустимый целевой интервал
17	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	41,3	
18	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	41,6	
19	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	42,3	
20	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	43	
21	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	43,2	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
45	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	55,5	

Целевой признак  $x_5$  в табл. 1 имеет полезные интервалы [12,0; 34,9] и [35,0; 56,0]. Последний описывается предикатом  $P_u(x_u^i) = [(x_u^i - 35,0 \geq 0)] \equiv 1$ , где 35,0 допустимое минимальное значение прочности на сжатие материала.

В эксперименте использовалась обучающая выборка  $T_0(37, 12)$  и контрольная  $T_K(8, 12)$ , сформированные случайно из булевой ТЭД  $T_B(45, 12)$  (табл. 2) при выбранных условиях  $t$ -неопределённости. Предварительно определяем допустимый максимальный ранг  $r_{max} = 2$  искомой закономерности  $Btk3 = tk_2 \bar{\Sigma}_Z$ , адекватный объёму  $(37 \times 12)$  обучающей выборки  $T_0(37, 12)$  согласно оценочного неравенства (1) при заданном допустимом пороге математического ожидания оценки  $M^*_Z = 10^{-2}$ . С помощью  $tIND$ -оператора (3), используя булеву  $T_0(37, 12)$  для обучения, обнаруживаем искомую импликативную закономерность  $Btk3 = \bar{\Sigma}_Z$  в виде  $t$ -кванта 2-го порядка  $tk_2 \bar{\Sigma}_Z$  с именем  $\bar{\Sigma}_Z$ , которая содержит запреты-конъюнкции только 2-го ранга ( $r_{max} = 2$ ) и выражается в дизъюнктивной нормальной форме (ДНФ):

$$\begin{aligned}
 Btk3(Z) = \bar{\Sigma}_Z = & \bar{X}_8 \cdot \bar{X}_{12} \vee X_8 \cdot X_{12} \vee X_7 \cdot \bar{X}_{12} \vee X_6 \cdot \bar{X}_{12} \vee X_{10} \cdot X_{11} \vee X_9 \cdot X_{11} \vee X_9 \cdot X_{10} \vee \\
 & \vee X_7 \cdot X_8 \vee X_6 \cdot X_8 \vee X_6 \cdot X_7 \vee X_5 \cdot X_6 \vee X_4 \cdot X_5 \vee X_3 \cdot X_5 \vee X_2 \cdot X_5 \vee X_1 \cdot X_5 \vee X_3 \cdot X_4 \vee X_2 \cdot X_4 \vee \\
 & \vee X_1 \cdot X_4 \vee X_2 \cdot X_3 \vee X_1 \cdot X_3 \vee X_1 \cdot X
 \end{aligned} \tag{7}$$

Аналитическое выражение (7) представляет собой логическую сумму («V»-дизъюнкцию) пар логических произведений («&»-конъюнций) сочетаний предикатных признаков  $X_1 - X_{12}$  системного ОПР. Кроме этого, оно описывает дедуктивное правило принятия знаниеориентированных решений относительно интересующих 4-х категорий событий: 1-я – «не знаю»; 2-я – «противоречие»; 3-я – «ОПР обладает допустимым значением целевого признака ( $X_{12} = X_{12}$ )» и 4-я – «ОПР не обладает допустимым значением целевого признака ( $X_{12} = \bar{X}_{12}$ )».

С целью определения эффективности обнаруженной импликативной  $Btk3(Z)$  (7) по критерию  $K_3$  [5] используется контрольная ТЭД  $T_K(8, 12)$ . Например, контрольная точка  $Y_3$ , из  $T_K(8, 12)$  (см. табл. 3) имеет следующую семантику: «ЕСЛИ время обработки ультразвуком 60 сек, И концентрация суспензии 70%, И мощность ультразвукового воздействия 100%, ТО конечный материал не обладает достаточной прочностью, т.е.  $X_{12} = X_{12} = 0$ ». В результате применения  $tDED$ -оператора (5) или путём подстановки точки  $Y_3$  в  $Btk3(Z)$  (7) получаем наглядное машинное подтверждение контрольного результата.

Таблица 3

проба	Время обработки ультразвуком (сек)					Концентрация суспензии %			Мощность ультразвукового воздействия %			Прочность
	$P_1(30)$	$P_2(60)$	$P_3(90)$	$P_4(120)$	$P_5(150)$	$P_6(50)$	$P_7(60)$	$P_8(70)$	$P_9(50)$	$P_{10}(75)$	$P_{11}(100)$	Целевой признак
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12} = X_{12}$
$Y_3$	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0

Результат подстановки имеет вид:

$$\begin{aligned} \bar{\Sigma}_Z(Y_3) = & \bar{X}_8 \cdot \bar{X}_{12} \vee \bar{X}_8 \cdot X_{12} \vee X_7 \cdot \bar{X}_{12} \vee X_6 \cdot \bar{X}_{12} \vee X_{10} \cdot X_{11} \vee X_9 \cdot X_{11} \vee X_9 \cdot X_{10} \vee X_7 \cdot X_8 \vee X_6 \cdot X_8 \\ & \vee X_6 \cdot X_7 \vee X_5 \cdot X_6 \vee X_4 \cdot X_5 \vee X_3 \cdot X_5 \vee X_2 \cdot X_5 \vee X_1 \cdot X_5 \vee X_3 \cdot X_4 \vee X_2 \cdot X_4 \vee X_1 \cdot X_4 \vee X_2 \cdot X_3 \vee \\ & \vee X_1 \cdot X_3 \vee X_1 \cdot X_2 = 0 \cdot \bar{X}_{12} \vee 1 \cdot X_{12} \vee 0 \cdot \bar{X}_{12} \vee 0 \cdot \bar{X}_{12} \vee 0 \cdot 1 \vee 0 \cdot 1 \vee 0 \cdot 0 \vee 0 \cdot 1 \vee 0 \cdot 1 \vee 0 \cdot 0 \vee 0 \cdot 0 \\ & \vee 0 \cdot 0 \vee 0 \cdot 0 \vee 1 \cdot 0 \vee 0 \cdot 0 \vee 0 \cdot 0 \vee 1 \cdot 0 \vee 0 \cdot 0 \vee 1 \cdot 0 \vee 0 \cdot 0 \vee 0 \cdot 1 = X_{12}; \\ \bar{\Sigma}_Z(Y_3) = & \bar{X}_{12}, \end{aligned} \quad (8)$$

Результат контроля (8) означает, что для пробы  $Y_3$  в табл. 3 *конечный* материал *не обладает* достаточной *прочностью*, что и требовалось:  $X_{12} = X_{ц} = 0$ . В общем случае дедукция (8) есть *частное tk-знание* в виде *t-кванта s-го* порядка  $tk_s R_w$ , ( $s = 0, 1, 2$ ;  $w = 1, 2, \dots$ ), которое выводится *tDED-оператором* (5) при любом *входном t-кванте tk<sub>1</sub>Y<sub>w</sub>* вида табл. 3, опираясь на  $Btk_3(Z) = tk_2 \bar{\Sigma}_Z$  вида (7). Более того, из  $Btk_3(Z)$  (7) видно, что посылочные переменные  $\bar{X}_8, X_7, X_6$  связаны *конъюнкцией* с *целевым* признаком  $X_{12}$ . Это означает, что концентрация суспензии является весьма информативным признаком при поиске оптимальных параметров для создания строительных композитов на основе активации сырья ультразвуком.

### Выводы

Проведенные исследования средствами новой интеллектуальной методологии *знаниеориентированного* обнаружения эмпирических закономерностей позволяют сделать следующее перспективные выводы.

1. Наряду с известными корреляционно-регрессионными моделями научно и экспериментально обоснована правомерность использования комбинаторно-логических полиномов вида (7) инженерии квантов знаний [1 – 5] для установления *причинно-следственных* связей между входными и выходными факторами искомых эмпирических зависимостей в предметных областях практически любой природы.

2. Разработанная инженерная методика *знаниеориентированного* обнаружения *эмпирических* зависимостей на базе данной методологии *обеспечивает* установление закономерностей формирования прочной структуры искусственного камня на основе воздействия ультразвуковой кавитации и разработку методов направленного регулирования свойств активированных материалов в ультразвуковом поле.

3. Новизна полученных результатов состоит в научно обоснованной реализации компьютерного обнаружения *имплицитивных* и *функциональных* закономерностей структурообразования строительных композитов в виде обучаемой на прецедентах базы *tk-знаний*, которая определяет зависимость *прочности* на сжатие готового материала от параметров ультразвуковой обработки известняка и концентрации суспензии.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сироджа И. Б. Квантовые модели и методы искусственного интеллекта для принятия решений и управления / Сироджа И. Б. – К.: Наукова думка, 2002. – 423 с.
2. Сироджа И.Б. Метод разноуровневых алгоритмических квантов знаний для принятия производственных решений при недостатке и нечеткости данных / И.Б. Сироджа, Т.Ю. Петренко. – Киев: Наукова думка, 2000. – 248с.
3. Сироджа И.Б. Сетевые модели инженерии квантов знаний для вывода решений в системах искусственного интеллекта / И.Б. Сироджа, Л.С. Молодых // Искусственный интеллект. – 2004. – №4 – С. 124 – 131.
4. Сироджа И.Б. Модели и методы инженерии квантов знаний для принятия решений в системах искусственного интеллекта / И.Б. Сироджа, И.А. Верещак // Системи обробки інформації. – Харків, 2006. – Випуск 8(57) – С. 63 – 81.

5. Сироджа И.Б. Оценивание качества идентификационных и прогнозных решений в инженерии квантов знаний / И. Б. Сироджа // Бионика интеллекта. – 2008. – № 2(69) – С. 77 – 83.
6. Любомирский Н.В. Строительные композиты на основе извести карбонизированного типа твердения / Н.В. Любомирский, В.М. Сребняк, А.С. Бахтин // Motrol. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Simferopol-Lublin. – 2009. – Vol. 11A. – P. 229 – 238.
7. Любомирский Н.В. Технология производства кирпича на основе известково-карбонатной композиции карбонизационного твердения / Н.В. Любомирский, Т.А. Бахтина, А.С. Бахтин // Строительство и техногенная безопасность. – Симферополь: НАПКС. – 2010. – вып. 32. – С. 60 – 69.
8. Оптимизация технологических параметров получения лицевого кирпича на основе извести карбонизационного твердения / [Федоркин С.И., Любомирский Н.В., Бахтина Т.А., Бахтин А.С.] // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Дн-вск: ПГАСА.–2010. – Вып. 56. – С. 265 – 270.
9. Статистические методы в инженерных исследованиях (лабораторный практикум) / [Бородюк В.П., Вошинин А.П., Иванов А.З. и др.; Под ред. Г.К. Круга.]. – М.: Высш. школа, 1983. – 216 с.
10. Саутин С.Н. Планирование эксперимента в химии и химической технологии / С.Н. Саутин. – Ленинград: Химия, 1975. – 48 с.

**УДК.:666.972.16**

**Салих Фатиан, аспирант, Коваль С.В., д.т.н., проф.**

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*

### **ВЛИЯНИЕ ПОВТОРНОГО ВВЕДЕНИЯ ДОБАВОК НА РЕОЛОГИЮ И ТВЕРДЕНИЕ ЦЕМЕНТНОГО РАСТВОРА КАК МАТРИЦЫ БЕТОНА**

Проведена оценка эффективности добавок в случае запоздалого и повторного введения добавок для повышения сохранности бетонной смеси. Исследовано изменение термокинетических показателей гидратации, параметров реологии и структурообразования цементных паст как матрицы бетона.

**запоздалое и повторное введение добавок, термокинетика гидратации, вязкость и прочность цементных паст**

#### **ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ.**

Высококачественный бетон обычно имеет низкий уровень цементно-водного отношения с целью обеспечения высокой прочности и долговечности. В то же время существует тенденция быстрой потери удобоукладываемости смесей с низким В/Ц, что приводит часто к использованию максимальных дозировок суперпластификатора.

Эффективным способом повышения эффективности добавок-суперпластификаторов является метод повторного введения пластифицирующих добавок как через несколько минут после смешивания компонентов, так и непосредственно перед укладкой бетонной смеси.

В настоящее время отсутствует единая точка зрения на эффективность повторного введения суперпластификаторов для снижения спада удобоукладываемости бетонной смеси. Однако, несмотря на нерешенность на теоретическом уровне этих проблем, метод повторного введения добавок широко используется для восстановления удобоукладываемости бетонной смеси и качественной укладки ее в конструкцию. Естественно, это вынужденная мера, гораздо предпочтительнее было бы единообразно вводить добавку в условиях бетонно-смесительного узла. Однако учесть все факторы, в

том числе климатические, влияющие на сохраняемость бетонной смеси, практически невозможно. Поэтому в условиях рыночной экономики, когда производитель бетонной смеси не может допустить потери, а потребитель не может допустить брак при изготовлении конструкций, этот метод вполне имеет право на жизнь.

#### АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ.

С учетом данных многих авторов, можно утверждать, что введенный совместно с водой затворения СП интенсивно адсорбируется содержащимися на поверхности зерен  $C_3A$ ,  $C_3S$  а также этtringита, образующегося на первой стадии в результате реакции  $C_3A$  и гипса. В результате адсорбции СП на образующихся новых поверхностях содержание «активного вещества» добавки [3] в жидкой фазе быстро уменьшается, что отражается на реологических характеристиках цементных паст.

Изменение способа введения добавки сказывается на количестве адсорбированных молекул на продуктах гидратации и, соответственно, на кинетике гидратации в индукционный и ускоренный период. *Отсрочка введения добавки* понижает адсорбцию добавки. В жидкой фазе сохраняется дополнительное количество «активного вещества» для новой пластификации системы и покрытия поверхностей новой молекулярной пленкой.

Для восстановления эффективным является и *метод повторного введения* пластифицирующих добавок непосредственно перед укладкой бетонной смеси («two-step mixing method», TSMМ) [1]. В основу TSMМ положено представление об уменьшении адсорбции добавки на частично гидратированных алюмосодержащих фазах цемента, что приводит к дальнейшему диспергированию силикатов и снижению вязкости системы [3].

Согласно Neville [1], теоретически оптимальным будет такое время введения добавки, которое отвечает началу индукционного периода. Это дает большую подвижность и более медленный ее спад. Jamgozy [2] также относит эти эффекты к оптимальному времени введения добавки. Количество порций не должно быть большим, так как многократное дозирование может являться причиной формирования худшей структуры и падения прочности бетона [2].

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.

Изменение способа введения добавки-суперпластификатора RBV (после введения с водой затворения, с запаздыванием или дополнительно к исходной порции) не повлияло на общий вид кривых скорости  $f = dQ/d\tau$  и общего тепловыделения  $f = Q(\tau)$ . Однако числовые характеристики этих кривых (термокинетические показатели) существенно изменяются.

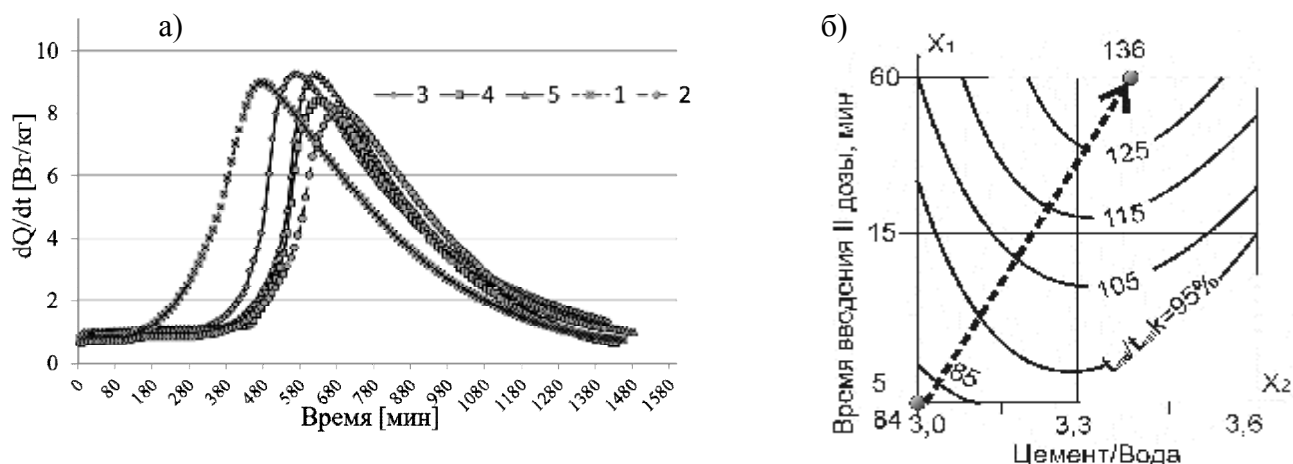
Введение добавки *с запаздыванием* на 5, 15 и 60 мин сдвигает максимумы  $dQ/d\tau$  на 210, 310 и 150 мин соответственно (хотя пик  $V_{max}$  в этих случаях может быть выше, чем для «чистого» цемента). При обычном способе индукционный период заканчивается на 220-320 мин позже, чем без добавки (в зависимости от величины Ц/В). В случае удлинения индукционного периода смесь сохраняет свойства тиксотропной жидкости в течение более длительного времени. Заметное уменьшение скорости и увеличение продолжительности индукционного периода в случае запоздалого введения добавки, по сравнению с обычным способом, может указывать на блокирование центров кристаллизации.

В случае *повторного введения* добавки (50 % объема в 30% оставшейся воды) к уже имеющейся в системе (70% воды +50 % СП) в кинетике гидратации наблюдается ряд особенностей. В частности, это более раннее появление основного пика  $dQ/d\tau$  при введении СП через 60 мин, чем при введении через 5 и 15 мин (рис.1а), что может свидетельствовать о недостаточности количества этой добавки замедлить темп образования кристаллической структуры в более поздний период.

Для сравнения эффективности времени введенной добавки рассчитывались критерии типа:

$$\Omega = T_k(t) / T_k(Od) \quad (1)$$

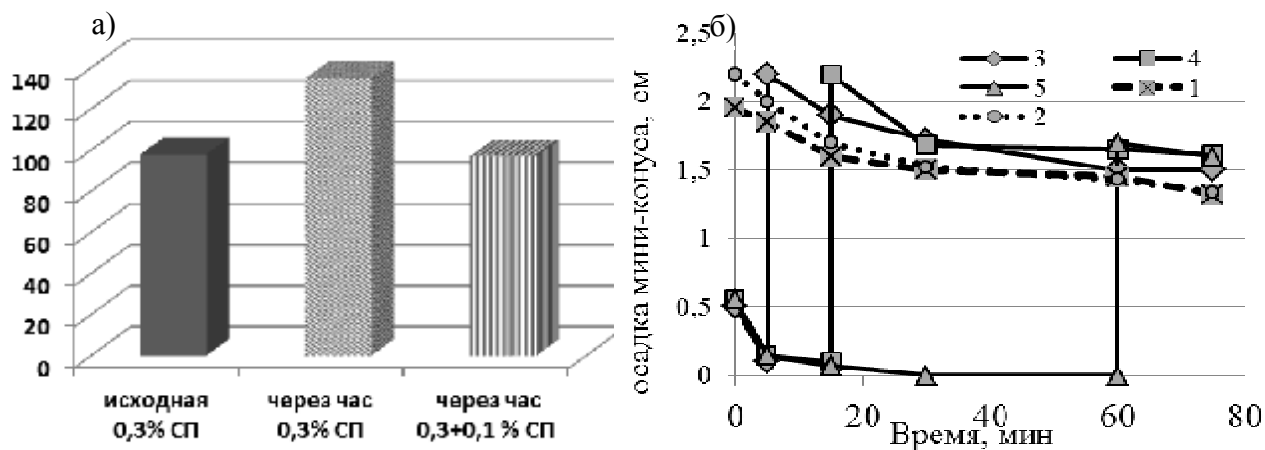
где  $\Omega$  – прирост (отрицательный или положительный) термокинетического показателя;  $T_k(t)$  – термокинетический показатель после повторного введения добавки;  $T_k(Od)$  – термокинетический показатель гидратации при введении добавки с водой затворения в диапазоне изменения Ц/В = 3,0...3,6.



**Рис.1. Кинетические кривые(а) скорости тепловыделения (1-без добавки; 2 - обычный способ введения ( $D_1=0,7\%$ ); 3- раздельно: к начальным  $0,35\%$  добавочно  $0,35\%$  через 5 мин; 4 –через 15 мин; 5–через 60 мин) и номограмма влияния повторного введения добавки ( $0,35D_1+0,35D_2$ ) на относительные изменения продолжительности индукционного периода (б)**

Продолжительность  $\tau_{инд}$  индукционного периода (рис.1.б) возрастает по мере удлинения (до 60 мин) отсрочки введения дополнительной порции добавки (по сравнению с обычным введением). При этом максимум такого удлинения зависит от соотношения жидкой и твердой фаз (величины Ц/В).

Эти данные вполне коррелируют с результатами оценки мини-конуса (рис.2а) и вязкости цементных паст (рис.2б).

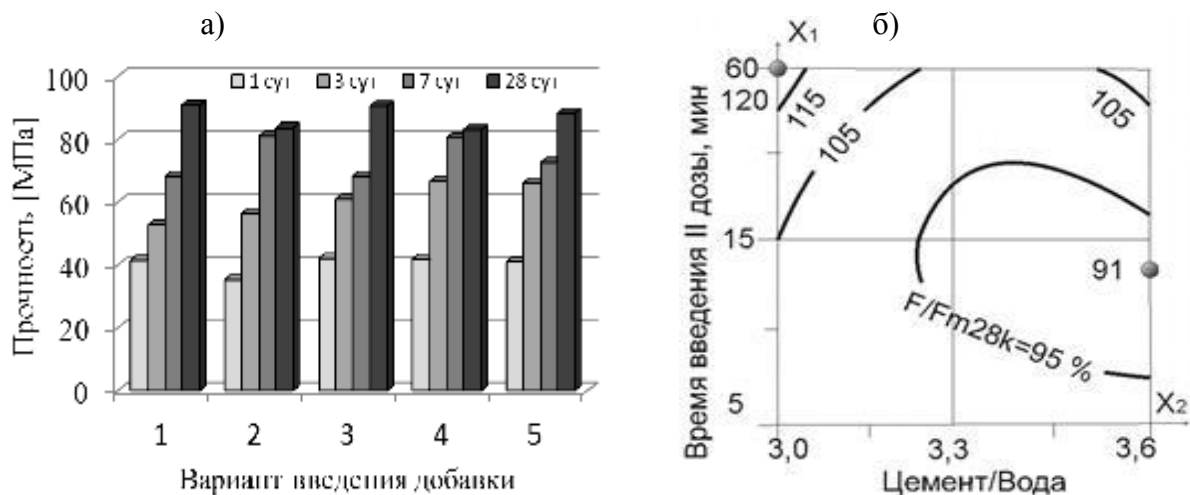


**Рис. 2. Влияние способа запоздалого введения добавки на вязкость (а) и осадку мини-конуса (б) цементных паст (варианты введения добавки обозначены в соответствии с рис.1а)**

Дополнительная порция  $0,1\%$  суперпластификатора, вводимая после 60 мин, полностью восстанавливает исходный уровень эффективной вязкости и осадки мини-конуса (величина осадки конуса непосредственно связана с предельным напряжением сдвига). Это является подтверждением целесообразности применения ТСММ с позиций восстановления реологических показателей. В то же время осадка мини-конуса после повторного введения добавки снижается быстрыми темпами, следовательно – повторно

дозу целесообразно применять непосредственно перед размещением и уплотнением бетона.

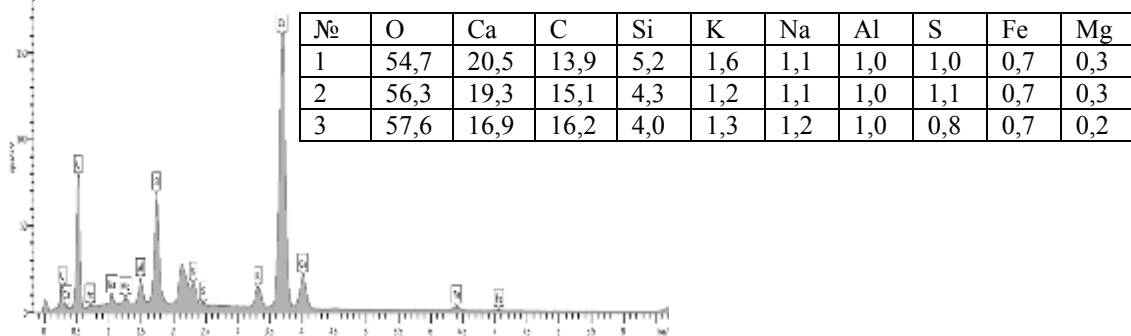
Прочность цементного камня вне зависимости от времени дополнительного введения добавки возрастает во все контрольные сроки (рис.3а). При этом прирост прочности, рассчитанный по аналогии с зависимостью (1), по сравнению с обычным введением, изменяется в зависимости от времени добавочного введения и Ц/В от 91% до 120% (рис.3б). Это свидетельствует о незначительных изменениях прочности при повторном введении добавки.



**Рис.3. Диаграммы изменения прочности цементного камня (а) и изолинии влияния (б) повторного введения добавки ( $0,35D_1+0,35D_2$ ) на относительные изменения прочности цементного камня после 28 суток твердения (б)**

Для изучения влияния добавок на микро и макроструктуру использовался электронный сканирующий микроскоп TESCAN VEGA, оборудованный системой EDX энергодисперсионного анализа INCA Energy 450 фирмы OxfordInstrument. Не отмечено существенных отличий в макро и микроструктуре цементного камня после 10 сут твердения. Топография скола цементного камня на уровне микроструктуры (увеличение в 60000 раз) характеризуется игольчатым этtringитом и C-S-H, а также хорошо различимыми столбчатыми кристаллами  $Ca(OH)_2$ , порядок которых менее регулярный в случае использования TSM. Исследования макроструктуры (увеличение в 20 раз) показали идентичность характера поверхности цементного камня и размеров воздушных микропор.

Количественный элементарный анализ по данным EDX – спектрограмм показал практически одинаковое содержание кальция и других элементов на площади  $\sim 1-2$   $\mu m^2$  глубиной до 2  $\mu m$ , входящих в состав цементного камня при введении добавки (рис.4).



**Рис. 4. EDX - спектрограмма образцов цементного камня и сравнительные данные по элементарному составу поверхности (варианты введения добавки обозначены в соответствии с рис.1а)**

## Выводы

Изменение способа введения добавки сказывается на кинетике гидратации в индукционный и ускоренный период. Дополнительная порция суперпластификатора, вводимая после 60 мин, полностью восстанавливает исходный уровень эффективной вязкости и осадки мини-конуса. Прочность цементного камня вне зависимости от времени дополнительного введения добавки возрастает во все контрольные сроки. По данным электронной сканирующей микроскопии не отмечено существенных отличий в макро и микроструктуре цементного камня после 10 суток твердения. Количественный элементарный анализ по данным EDX – спектрограмм показал практически одинаковое содержание кальция и других элементов, входящих в состав цементного камня.

К числу не до конца выясненных вопросов относится влияние повторного дозирования на воздухоовлечение, однородность распределения новой порции добавки в барабане бетоносмесителя и др.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Neville A.M. Właściwości betonu. Wydanie czwarte, Wydawnictwo Polski Cement, Kraków 2010, 829 s.
2. Jamróży Z. Betonijegotechnologie. Nowe wydanie uwzględniające PN-EN206-1, Warszawa: Wyd. PWN, 2005. — 506 s.
3. Saeed K.R. Improving compressive strength of concrete by a two-step mixing method, Cem.Concr.Res. 26 (1996) 585-592 s.
4. Chiocchio G., Paolini A.E. Optimum time for adding superplasticizer Portland // Cem. Concr.Res. –15 (5) (1985).–S.901- 908.
5. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. – М., 1998. – 768 с.

**УДК. 666.9.015.42**

**Свищ И.С., к.т.н., доцент, Носатова Е.В., инженер**

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

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

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**

Шлакощелочной цемент (ШЩЦ) является конкурентом на рынке вяжущих материалов обычному портландцементу и его разновидностям. На ряду 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.

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). 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 камнепечения 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 камнепечения известняка ракушечника в виде песка и щебня как заполнители для бетона.

**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 камнепечения нумулитового известняка как добавки при совместном помоле с доменными гранулированными шлаками.
- 4) влияние ШЩВ на основе совместного помола доменного гранулированного шлака и карбонатных отходов камнепечения нумулитового известняка на сроки схватывания, прочность, атмосфероустойчивость.
- 5) использование карбонатных отходов камнепечения нумулитового 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 камнепечения нумулитового известняка на сроки схватывания, прочность, атмосфероустойчивость.
- 7) Влияние условий ТВО на набор прочности, атмосфероустойчивость и водостойкость ШЩВ с использованием отходов камнепечения известняков.

#### **ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

- Жидкое стекло Днепродзержинское с  $M_c=1,65$  и  $M_c=1,59$  и плотностью  $\rho=1,18$  г/см<sup>3</sup>.
- Шлак доменный металлургический гранулированный Запорожский.
- Цеолит Закарпатский природный дробленный Сокирницкого месторождения.
- Известняк белый мшанковый и нумулитовый (Скалистое) – отход камнепечения.
- Известняк-ракушечник желтый Первомайского района – отход камнепечения.
- 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 – 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.

Свойства известняка ракушечника: насыпная плотность щебня фракции 5-10 составляет 0,9 г/см<sup>3</sup>; насыпная плотность песка фракции <5 составляет 1,2 г/см<sup>3</sup>; истинная плотность – 2,71г/см<sup>3</sup>.

**Таблица 1.**

**Химический состав металлургического шлака и природного цеолита**

минерал	Содержание оксидов %						
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
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 БВ 2.7-187.



**Рис. 1, 2. Фотографии испытаний балочек**

Таблица 2

## Результаты испытаний балочек размером 4x4x16см после ТВО

№	Условия		Результаты								
	Суд., см <sup>2</sup> /Г	Добавки в шлак	R <sub>сж</sub> , МПа после ТВО						R <sub>сж</sub> ср.	Н. схв. мин.	К. схв. мин.
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: Силикатный модуль жидкого стекла  $M_c=1,59$ , плотность жидкого стекла  $\rho=1,18$  г/см<sup>3</sup>,  $p/\text{ш}=0,4$ .

Определение прочности ШЩБ проводились в соответствии с ДСТУ БВ 2.7-214



Рис. 3. Фотография испытаний цилиндров

Таблица 3

## Результаты испытаний образцов цилиндров диаметром 7 см после ТВО

№	Условия		Результаты			
	Суд., см <sup>2</sup> /Г	Добавки в шлак	R <sub>сж</sub> , МПа после ТВО			R <sub>сж.ср.</sub>
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

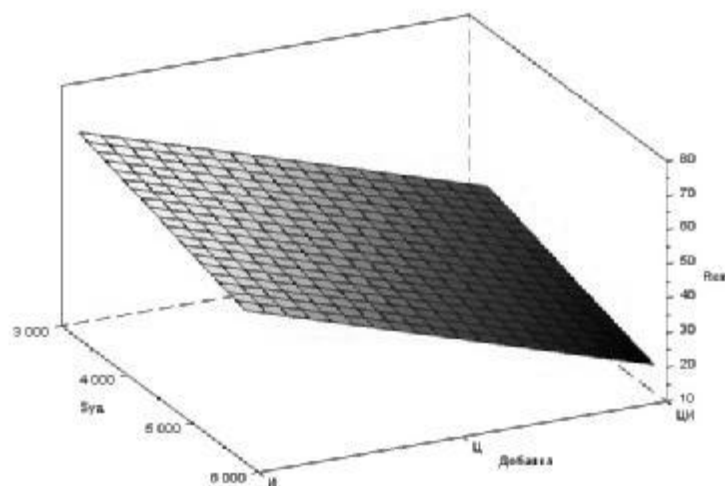
Примечание:

Силикатный модуль жидкого стекла  $M_c=1,65$ , плотность жидкого стекла  $\rho=1,18$  г/см<sup>3</sup>,  $p/\text{ш}=0,36$

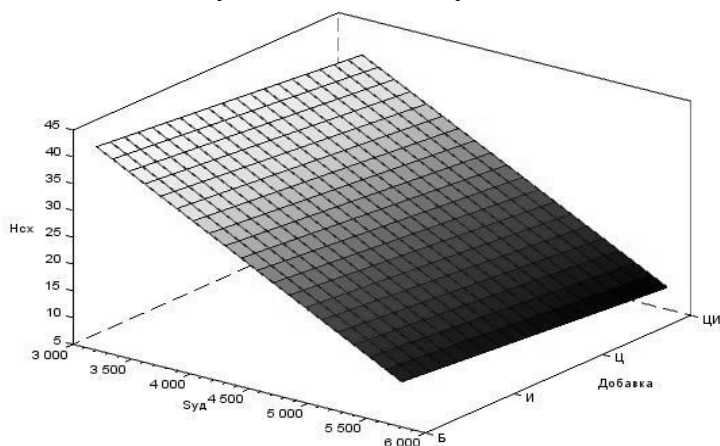
Состав бетона на 1 м<sup>3</sup>: щебень-1000кг, песок-682 кг, шлак-550 кг, р-р ж.ст.-200 мл.

По результатам испытаний были получены уравнения регрессии влияния удельной поверхности и вида вяжущего на сроки схватывания и прочностные характеристики ШЩВ и ШЩБ. На основании уравнений регрессии были построены графики зависимости

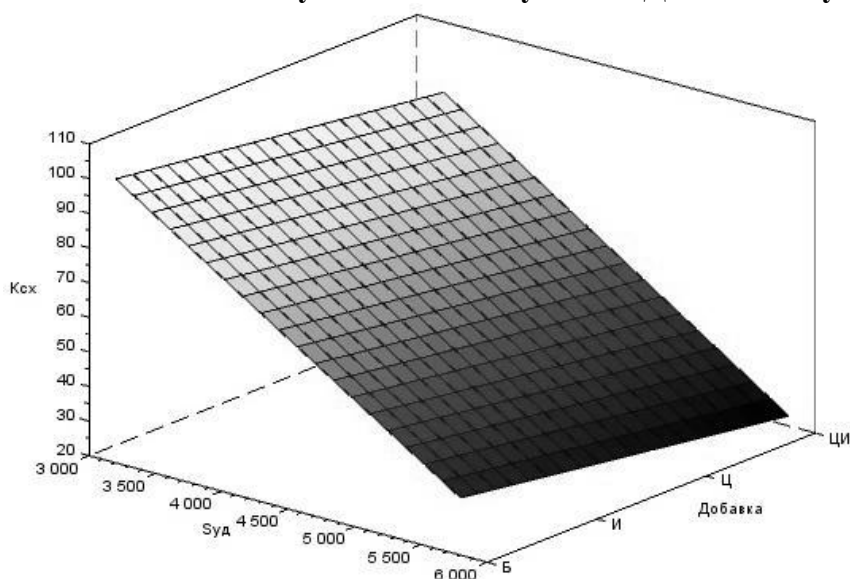
перечисленных факторов на исследуемые параметры. Графики зависимости отображены на следующих рисунках.



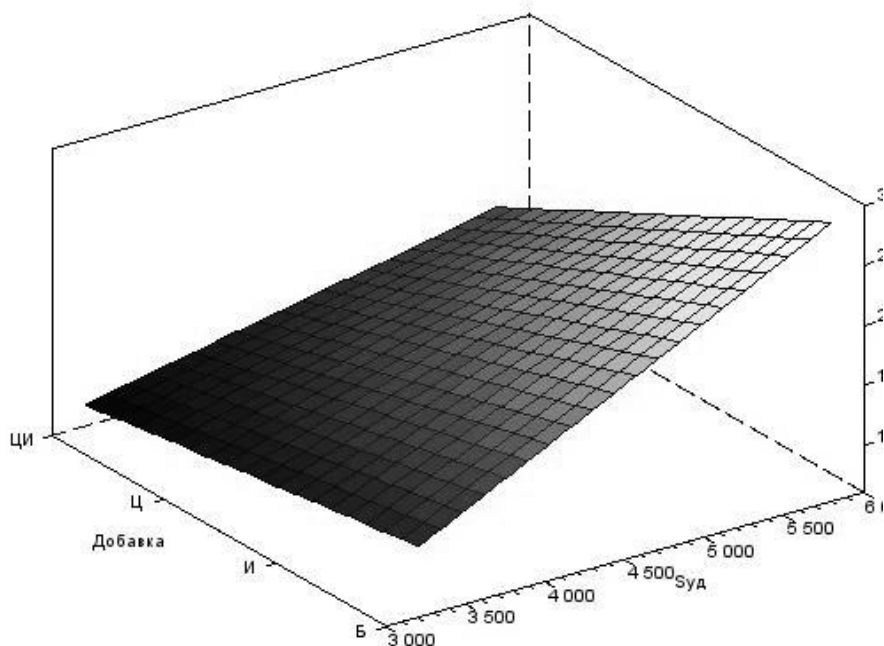
**Рис. 4. Уравнение регрессии влияния удельной поверхности и вида вяжущего на предел прочности на сжатие половинок стандартных балочек, испытанных после ТВО  $y=108.87-0.006*S_{уд}-18.077*Д$**



**Рис.5. Уравнение регрессии влияния удельной поверхности и вида вяжущего на начало схватывания  $y=81.18-0.011*S_{уд}-1.81*Д+0.00006*S_{уд}*Д$**



**Рис.6. Уравнение регрессии влияния удельной поверхности и вида вяжущего на окончание схватывания  $y=186.13-0.025*S_{уд}-3.57*Д-0.0002*S_{уд}*Д$**



**Рис.7. Уравнение регрессии влияния удельной поверхности и вида вяжущего на предел прочности на сжатие образцов цилиндров диаметром 7 см, испытанных после ТВО  $y = -12.41 + 0.008 * \text{СуД} + 2.98 * \text{Д} - 0.001 * \text{СуД} * \text{Д}$**



**Рис.8 Образец цилиндр из шлакощелочного бетона при естественном твердении**



**Рис..9 Образец цилиндр из шлакощелочного бетона после ТВО при твердении 28 суток**

## 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 показатель прочности бетона на сжатие показали 1,3 и 4 составы. На получение высоких прочностных показателей ШЩВ на отходах известняка ракушечника влияет добавка 30% белого известняка и совместный их помол.

4. Выявлено, что режим ТВО (2+10+2,5; темп-ра 80 градусов) оказал положительное влияние на атмосфероустойчивость и водостойкость всех составов бетонов.

5. На основе анализа полученных результатов необходимо провести многофакторный эксперимент со следующими варьируемыми факторами и их пределами:

- Суд. Шлака в пределах 3000-3600 см<sup>2</sup>/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  $M = 1,5 \dots 1,7$  в пределах 1,12...1,16 г/см<sup>3</sup>.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Глуховський В.Д. Грунтосілікатні вироби і конструкції. – К., Будівельник, 1967.
2. Глуховский В.Д. Грунтоцементы. – Доклад на XXI научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава КИСИ. Киев, 1960.
3. Глуховский В.Д. Грунтосиликаты. Киев, Госстройиздат, 1959.
4. П.В. Кривенко, Е.К. Пушкарева. Долговечность шлакощелочного бетона. – К., Будівельник, 1993, 224 с.
5. Состав, структура и свойства цементных бетонов./Под редакцией Г.И. Горчакова/. – М.: Стройиздат, 1976, -144 с.
6. ДСТУ БВ 2.7-188: 2009 «Цементы. Методы определения тонкости помола». Киев, Минрегионстрой Украины 2010.
7. ДСТУ БВ2.7-187: 2009 «Строительные материалы. Цементы. Методы определения прочности на изгиб и сжатие». Киев Минрегионстрой, Украины 2010.
8. ДСТУ БВ2.7-214: 2009 «Строительные материалы. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам». Киев, Минрегионстрой Украины 2010.
9. ДСТУ БВ2.7-187: 2008. «Бетоны. Методы определения по контрольным образцам».
10. ДСТУ БВ2.7-46: 2008. «Цементы. Общестроительные технические условия».
11. ДСТУ БВ2.7-185: 2009. «Цементы. Методы определения нормальной плотности, сроков схватывания и равномерного изменения объема». Киев, Минрегионстрой Украины 2010.

## РАЗДЕЛ 4.

# ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, МЕХАНИКА И СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ

УДК 624.016:624.042.7

Ажермачёв С.Г., к.т.н., доцент; Керимов А.Д.

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

## СЕЙСМОСТОЙКИЕ ФУНДАМЕНТЫ

Рассматривается новое конструктивное решение сейсмостойких фундаментов, позволяющее значительно повысить надежность зданий при сейсмических воздействиях. Показаны пути повышения сейсмозащиты зданий при использовании электромагнитного эффекта. Показаны специальные устройства, позволяющие автоматически координировать работу системы сейсмозащиты. Показаны конструктивные решения рам сейсмостойкого фундамента. Показаны схемы работы сейсмостойких систем. Показаны схемы установки воздушных подушек для поднятия здания. Показана схема размещения датчиков и спускных клапанов. Показаны детали, образующие систему сейсмостойкого фундамента. Показано устройство возврата здания в исходное положение. Показана возможность замены одних конструктивных решений на другие.

**сейсмические воздействия, сейсмостойкость, колебания, воздушные подушки, электромагниты**

### ВВЕДЕНИЕ

Высокая сейсмическая активность – проблема, которая во все времена беспокоила жителей разных уголков Земли. Во время землетрясений мы обычно концентрируемся на самом важном – спасении человеческих жизней. Жилые и прочие постройки, превращённые в руины, восстановлению обычно не подлежат, так что кроме материальных убытков и толпы людей без крыши над головой это приводит ещё и к образованию большого количества строительного мусора.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

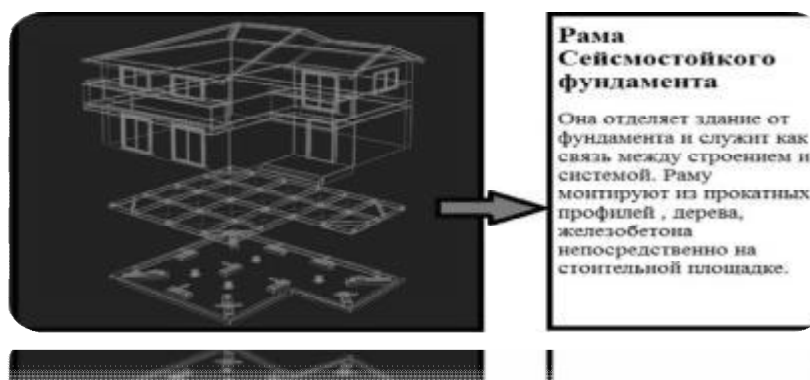
Японцы рассудили так: землетрясение влияет на тебя, только если ты стоишь на земле. Следовательно, в паре сантиметров от земли уже вполне безопасно. Эта концепция легла в основу новых «летающих домов», созданных конструкторской компанией «Air Danshin Systems Inc». Обычный с виду домик устанавливают на бетонном сейсмостойком фундаменте, а вокруг строения размещают систему механизмов: специальный датчик фиксирует подземные толчки и направляет сигнал компрессору, чтобы тот начал нагнетать под здание достаточно большой объем воздуха. Чтобы дом сохранял устойчивость во время левитации, количество воздуха регулируется при помощи специального клапана.

В результате постройка плавно поднимается над фундаментом на три сантиметра и переживает в таком состоянии катаклизм, после чего возвращается в целости и сохранности на своё место. Такой футуристической «избушкой на курьих ножках» уже обзавелись 88 частных домов по всей Японии, а тем временем компания разработчиков надеется на более широкое внедрение своей технологии. В частности, они находят возможной установку подобных систем для более крупных строений – хотя просто ли будет поднять их одним только воздушным потоком? Так или иначе, созданная «Air Danshin Systems Inc» технология не только эффективно справляется со своей задачей, но и является более дешевой по сравнению с остальными известными сегодня методами защиты домов от землетрясений.

Тот же вопрос привлёк внимание производителей смартфонов iPhone и планшетов iPad – теперь с их помощью жители страны восходящего солнца смогут заранее получать уведомления о неблагоприятной сейсмической обстановке в регионе. Эта полезная

функция появится в операционной системе iOS 5. Поставлять информацию взялась национальная система оповещения о землетрясениях (EEW), которая функционирует в Японии с 2007 года. Так что если раньше с началом землетрясений люди выбегали из домов, вынося документы и ценные вещи, то теперь смогут получать предупреждающие сообщения - и, наоборот, бежать скорее домой, чтобы успеть к началу «рейса». Совсем неплохо, если учесть, что в таком «парящем» здании не разобьётся ни одна чашка.

Ученые из Стэнфорда решили пойти другим путём, чтобы уберечь здания. Тяжёлые многоэтажные конструкции трудно заставить летать, но вот «танцевать» они могут, по-прежнему стоя на содрогающейся земле. Грег Дайерлейн и его коллеги разработали специальные рамы из стали, которые можно укреплять на стенах как на старых зданиях, так и на тех, которые только возводятся. Этот прочный каркас соединяет все этажи с фундаментом – однако не очень прочно, а таким образом, чтобы во время землетрясения стены могли отклоняться в разные стороны, вверх или вниз. Чтобы эти отклонения не стали последними для постройки, стальная рама (рис.1) предусмотрительно увита сетью тросов, которые возвращают стены в прежнее положение, а система металлических предохранителей оберегает металлический «скелет» здания от разъединения. Фактически дом перестаёт сопротивляться силе стихии, и движется в такт с подземными колебаниями. Энергия землетрясения гасится, а проблемы возникают только у предохранителей – поскольку металл деформируется, эти детали должны быть заменены на новые после каждой «дрожь земли». В остальном, сделав косметический ремонт, здания можно снова эксплуатировать, как и прежде. Вопросам защиты зданий и сооружений при сейсмических воздействиях посвящено очень много работ отечественных и зарубежных специалистов [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9].



**Рис.1. Рама сейсмостойкого фундамента**

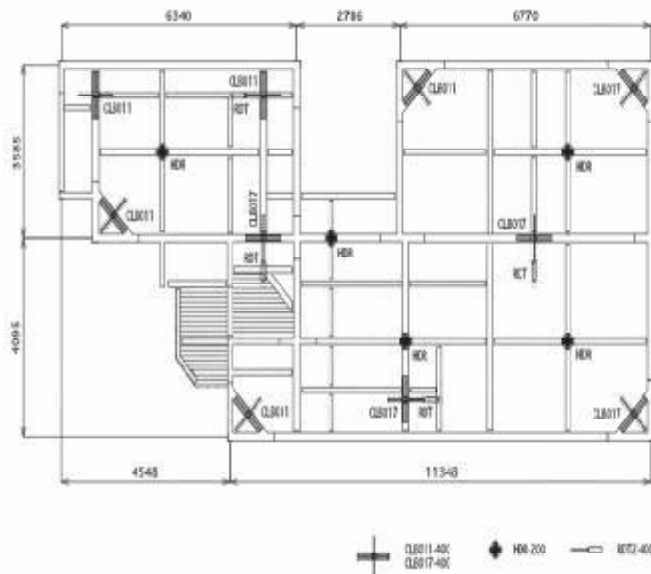
#### **Цель исследования**

Цель исследования – повышение сейсмостойкости сооружений. Рассмотрим новые конструктивные решения защиты сооружений от колебаний грунта.

#### **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ**

Теперь более подробно разберем системы сейсмостойких фундаментов. Такие системы способны работать как с лёгкими одноэтажными строениями, так и с многоэтажными. Подобная «гибкая» и надежная система может быть спроектирована для многих сооружений. Если рассмотреть жилой дом, как сооружение с сейсмостойким фундаментом, то строение, к которому применяется данная система сейсмоизоляции, может быть деревянным, каменным, с железобетонным и металлическим каркасом.

Как показано было ранее, подобная система может быть применена для частных домов, для офисных многоэтажных строений с каркасом различного типа. Если говорить о практических шагах использования сейсмостойких фундаментов в сторону высотных сооружений, то было разработано экспериментальное деревянное девятиэтажное здание, над которым проведены эксперименты с применением сейсмостойких систем (рис.2).



Пример проектировки сейсмостойкой системы для строительства деревянного дома по канадской технологии

Элементы сейсмостойкой системы

CLB011-400	: 5 деталей
CLB017-400	: 5 деталей
HDR-200	: 5 деталей
RDT-400	: 4 детали

Строительные площади

Площадь установки сейсмостойкой системы	: 107.1m <sup>2</sup>
Площадь 1-го этажа	: 94.8m <sup>2</sup>
Площадь 2-го этажа	: 97.9m <sup>2</sup>

**Рис. 2. План сейсмостойкого фундамента**

Устройство системы. На рис. 3 изображена схема работы сейсмостойких систем. Когда начинается землетрясение, специальные датчики улавливают первые толчки и определяют их силу. Из датчика землетрясения в компрессор поступают импульсы, которые активируют его. Воздух нагнетается в воздушные подушки для поднятия здания. Когда конструкция набирает нужную высоту, срабатывает датчик давления, а спускной клапан выравнивает давление во всех подушках. Так как первые толчки бывают самые разрушающие, то можно оставлять здание в «подвешенном» состоянии постоянно.



**Рис.3 Схема работы сейсмостойких систем**

На рис. 2 изображен пример проектировки фундамента для деревянного каркасного дома. Так же на рисунках указаны узлы, в которых установлены детали, в комплексе образующие систему сейсмостойкого фундамента. Дадим некоторые характеристики этим деталям (рис.4).

Сейсмостойкие рельсы. Состоят из двух панелей. Крепятся между собой металлическим блоком с резиновыми прокладками. За счет подшипников верхняя и нижняя панели могут свободно перемещаться в горизонтальной плоскости. Данная рельсовая система необходима для минимализации трения между рамой и фундаментом. После установки для данной системы необходимо выполнить следующие проверки:

- Максимальный коэффициент трения ( $\mu_{max}$ ) между рельсами не должен превышать  $\mu + 0,00z$ ,  
где



Канамори. В 1977 году сейсмолог Хиро Канамори из Калифорнийского технологического института предложил принципиально иную оценку интенсивности землетрясений, основанную на понятии сейсмического момента.

Сейсмический момент землетрясения определяется как:

$$M_0 = \mu Su \quad (2)$$

где  $\mu$  — модуль сдвига горных пород, порядка 30 ГПа;

$S$  — площадь, на которой замечены геологические разломы;

$u$  — среднее смещение вдоль разломов.

Таким образом, в единицах СИ сейсмический момент имеет размерность:

$\text{Па} \times \text{м}^2 \times \text{м} = \text{Н} \times \text{м}$ .

Магнитуда по Канамори определяется как:

$$M_W = \frac{2}{3(\lg M_0 - 16.1)} \quad (3)$$

где  $M_0$  — сейсмический момент, выраженный в  $\text{Н} \times \text{м}$ .

Шкала Канамори хорошо согласуется с более ранними шкалами при  $3 < M < 7$  и лучше подходит для оценки крупных землетрясений.

Определив такой момент землетрясения, выраженный в ( $\text{Н} \times \text{м}$ ), можно понять, какое минимальное количество проектных сейсмоизоляционных деталей необходимо для конструкции.

Следовательно, верно подобрав сейсмоизоляционную систему, каркас здания может оставаться без усиления и существенных изменений, т.е. расчет сейсмостойкости зданий и сооружений сводится к расчету монтируемого сейсмоизоляционного фундамента.

Безусловно, предлагаемое решение сейсмозащиты зданий интересно и требует достаточно сложных разработок узлов и их отдельных деталей. Необходима качественная подготовка и сборка при монтаже, оперативное реагирование на сигналы сейсмических воздействий.

Однако, воспользовавшись предложенной идеей сейсмозащиты, можно пойти дальше. Например, воздушные подушки можно заменить магнитными. Это значительно упростит систему и приведет к более высокой надежности сейсмоизоляции.

### Выводы

1. Разрушительные землетрясения происходили всегда, вызывая значительные отрицательные экономические последствия и большие человеческие жертвы.

2. С увеличением народонаселения, образованием больших мегаполисов и т.п., вопросы защиты людей и сооружений от сейсмических воздействий выходят на первый план.

3. Существует много инженерных решений, позволяющих снизить сейсмические воздействия на сооружения в большей или меньшей степени. Появляются новые решения.

4. Необходимо с большим вниманием относиться и к тем, которые в настоящее время могут вызывать сомнения, но при соответствующих доработках могут значительно повысить надежность сооружений при воздействии землетрясения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айзенберг Я.М. и др. Адаптивные системы сейсмической защиты сооружений. // М., Наука, 1978. – 248 с.
2. Елисеев С.В., Нерубенко Г.П. Динамические гасители колебаний. // Новосибирск, Наука, 1982. – 144 с.
3. Килимник Л.Ш. Методы целенаправленного проектирования в сейсмостойком строительстве. // М., Наука, 1980. – 156 с.
4. Корчинский И.Л. и др. Сейсмостойкое строительство зданий. // М., Высшая школа, 1971. – 320 с.

5. Назин В.В. Новые сейсмостойкие конструкции и железобетонные механизмы сейсмоизоляции зданий и сооружений. // М., Стройиздат, 1993. – 135 с.
6. Немчинов Ю.И. и др. Опыт гашения колебаний конструкций зданий и их элементов. // Строительная механика и расчет сооружений. №1, 1984. – с.68-70.
7. Поляков В.С., Килимник Л.Ш., Черкашин А.В. Современные методы сейсмозащиты зданий. // М., Стройиздат, 1989. – 320 с.
8. Поляков В.С., Килимник Л.Ш., Солдатова Л.Л. Опыт возведения зданий с сейсмоизолирующим поясом в фундаменте. // М., Стройиздат, 1984. – 32 с.
9. Экспериментальные исследования зданий на сейсмоизолирующих опорах при действии динамических нагрузок (Япония). // Экспресс информ. ВНИИС. Сер. 14. 1984. Вып. 17. – с.8-10.

**УДК 624.19.03**

**Дуванский А.В.**

*ДП «Донецкий Промстройниипроект»*

### **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ УЧЕТА ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ПРИ РАСЧЕТЕ ТОННЕЛЕЙ ГЛУБОКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ**

Рассматривается вопрос учета дополнительных нагрузок, преобладающих в массиве с тектоническими нарушениями различных видов. Рассмотрены существующие методы определения напряженного состояния массива. Предлагается методика по учету нагружающих тектонических напряжений при расчете конструкций тоннелей глубокого заложения. Сформулированы предпосылки к разработке строительных мер защиты тоннелей от влияния деформаций грунтовых массивов с зонами тектонических нарушений.

**Тектонические нарушения, массив, обделка, нагрузки, напряжения**

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Строительство подземных сооружений ведут преимущественно на территориях, не осложненных особыми условиями. Однако, вследствие развития промышленных предприятий и городов, появляется необходимость строительства коммуникационных тоннелей, коллекторов, тоннелей метрополитенов на всех территориях независимо от характера их структуры. Проектировщикам и строителям приходится часто сталкиваться с геотехническими проблемами. Наряду с уже имеющимися исследованиями работы обделок тоннелей в таких условиях (сейсмика, подрабатываемые территории, просадочные грунты, карсты и др.) наименее изученным случаем остается строительство в зонах тектонических нарушений.

Так как литологическое строение массива в осадочных грунтах не всегда имеет четкую слоистую структуру, необходимо учитывать особое напряженное состояние в массиве с зонами нарушения литологического строения, обусловленного тектоническими процессами. Такие процессы приводят к образованию участков со складками и разрывами в массиве, что ведет к нарастанию горизонтальных или вертикальных напряжений, оказывающих дополнительное нагружающее воздействие на конструкции прокладываемых тоннелей.

#### **Анализ публикаций**

Среди применяемых к настоящему времени методов расчета обделок подземных сооружений можно выделить два основных направления. Одно из них базируется на теории, трактующей давление горных пород на обделку как внешнюю по отношению к ней нагрузку. Второе направление характеризуется тем, что горное давление на обделку

формируется в результате контактного взаимодействия обделки и массива пород, представляющих единую деформируемую систему.

К первому направлению относятся методы расчета обделок, разработанные рядом известных ученых [1 – 4], в которых для раскрытия статической неопределенности системы, помимо метода сил, использовались метод перемещений и метод начальных параметров.

В недавнем прошлом, благодаря значительным достижениям в области механики горных пород, механики деформируемого твердого тела и прогрессивному развитию инженерных программных комплексов интенсивно развивается второе направление расчета подземных сооружений, в рамках которого грунтовый массив и обделка рассматриваются как единая деформируемая система. Особенностью таких расчетных схем этого направления является то, что массив здесь рассматривается в качестве не только поддерживающей, но и нагружающей среды по отношению к обделке. Как следствие этого, нагрузка на обделку (контактные напряжения) определяется в процессе единого расчета системы «обделка–массив».

Различают три схемы контактного взаимодействия [5]: континуальную, в которой массив моделируется сплошной средой с отверстием, а обделка – сплошным кольцом, подкрепляющим отверстие; дискретно-континуальную – массив моделируется сплошной средой, а обделка моделируется стержневой системой; и дискретную – и обделка, и массив моделируются стержневой системой.

### ЦЕЛИ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Применение и развитие существующих теорий расчета с целью обеспечения безопасного строительства и длительного срока эксплуатации тоннелей, проложенных в массиве с тектоническими нарушениями. Раскрыть суть малоизученных проблем, связанных со строительством подземных сооружений в зонах тектонических нарушений, что дополнит научные исследования в области строительства в сложных геотехнических условиях.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Первоочередной задачей в предложенной методике является установление напряженного состояния массива. Для этого необходимо выбрать какой-либо известный способ (рис. 1).

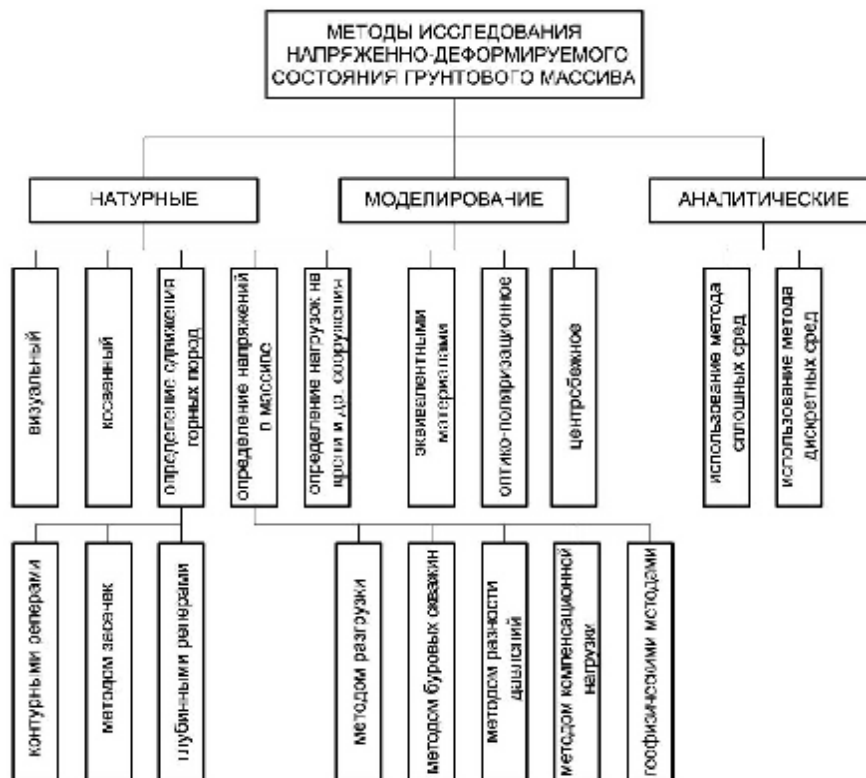


Рис. 1. Структурная схема существующих методов исследования напряженно-деформированного состояния грунтового массива

Необходимо отметить, что натурные методы прямого определения напряжений в грунтовом массиве являются наиболее достоверными [6]. Среди таких методов наиболее эффективными для определения напряжений в нетронутом массиве являются методы буровых скважин и геофизические методы. Такие методы с применением необходимого оборудования достаточно точны. Однако их трудоемкость и значительная стоимость оборудования для таких методов приводят к предпочтению других методов.

Сегодня методы моделирования широко используют в различных областях современного естествознания и техники. Моделирование бывает двух родов: с увеличением и с уменьшением масштаба системы.

В исследованиях массивов, как правило, моделируются объекты весьма больших размеров, поэтому применяются, как правило, модели с уменьшением абсолютных размеров объектов. При моделировании можно вести изучение процессов с определенной степенью схематизации объектов, что существенно облегчает интерпретацию результатов натурных наблюдений и измерений и позволяет с большей степенью обобщения проследить и уточнить механизм процессов в толще пород, окружающих горные выработки, с наибольшей возможностью изучить главнейшие действующие факторы.

Наряду с развитием инженерных программных комплексов, на сегодняшний день чаще используются аналитические методы, которые достаточно точно и с минимальными затратами позволяют установить напряженное состояние массива. Более того, такие методы дают возможность исследовать значительный масштаб, что является достаточно удобным для тоннелей, относящихся к протяженным сооружениям.

Используя какие-либо из приведенных методов, можно получить напряжения в грунтовом массиве  $y_z^И$ ,  $y_x^И$ ,  $y_y^И$  в любой интересующей области. Полученные величины напряжений, как правило, являются суммарными от различных процессов, происходящих в массивах (собственный вес массива, грунтовые воды, просадочность грунтов, сеймика, карсты, тектонические напряжения и т.д.). Поэтому, учитывая такое положение можно заключить, что напряжения в массиве с тектоническими нарушениями в основном сформированы собственным весом массива (рис. 2а) и тектоническими процессами (1) (рис. 2б).

$$y_{z,x,y}^И = y_{z,x,y}^Г + y_{z,x,y}^Т \quad (1)$$

где  $y_{z,x,y}^И$  – напряжения в массиве полученные в результате исследований;

$y_{z,x,y}^Г$  – напряжения в массиве от собственного веса;

$y_{z,x,y}^Т$  – напряжения в массиве от тектонических воздействий.

Используя гравитационную теорию [7], можно установить величины напряжений в массиве, сформированные собственным весом:

$$y_z^Г = \gamma h, \quad y_{x,y}^Г = \lambda \gamma h = \frac{\nu}{1-\nu} \gamma h \quad (2)$$

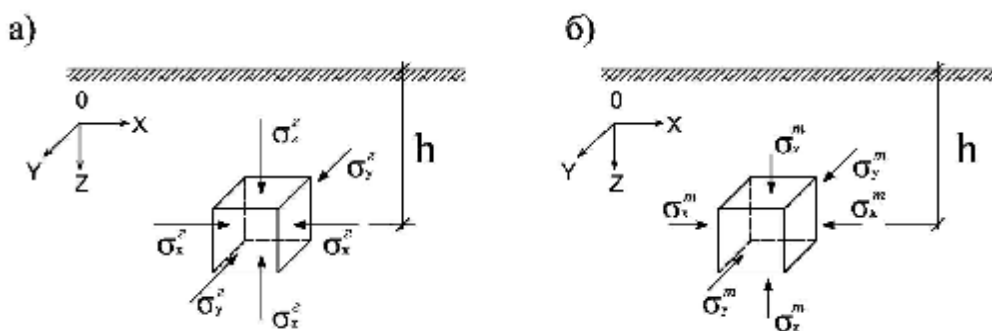
где  $y_z^Г$ ,  $y_{x,y}^Г$  – напряжения в массиве от собственного веса;

$\lambda$  – коэффициент бокового давления;

$\gamma$  – удельный вес массива;

$h$  – глубина заложения тоннеля;

$\nu$  – коэффициент Пуассона.



**Рис. 2. Схема напряженного состояния грунтового массива:  
а) от горного давления; б) от тектонических воздействий**

Для дальнейшего определения тектонических напряжений достаточно вычесть из напряжений, полученных путем исследования, теоретические напряжения, полученные в формуле (1):

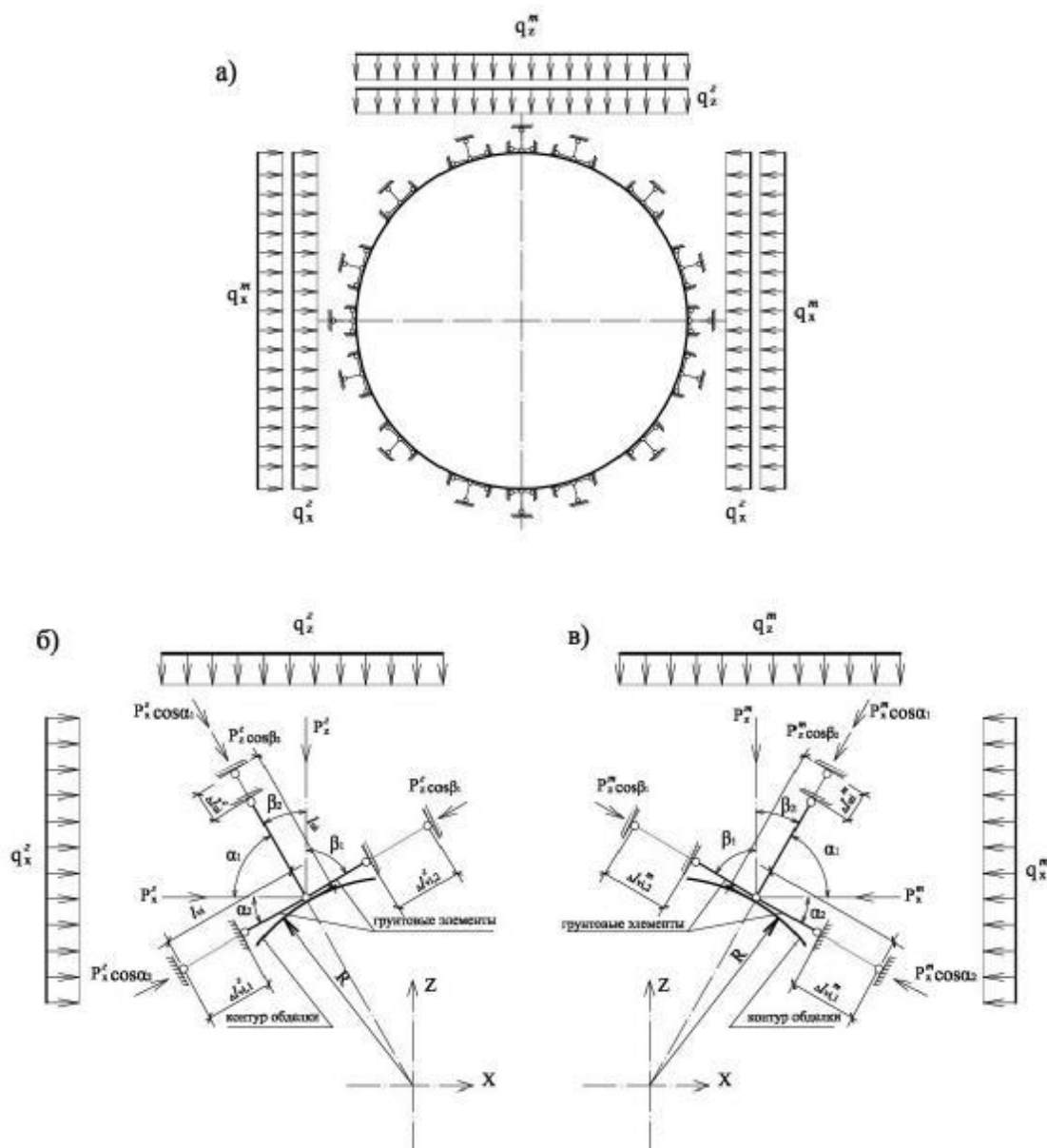
$$y_{z,x,y}^r = y_{z,x,y}^n - y_{z,x,y}^r \quad (3)$$

Полученные тектонические напряжения далее можно учесть при расчетах обделок тоннелей с помощью известных методов расчета [8] в различных постановках с применением выведенных формул. Однако, учитывая развитие современных расчетных комплексов, основанных на методе конечных элементов (МКЭ), целесообразно осуществлять реализацию взаимодействия грунтового массива с обделкой по средствам континуальных или дискретных схем.

Использование современных расчетных инженерных программных комплексов, основанных на МКЭ, позволяет моделировать массив и обделку посредством создания континуальных и дискретных схем в упругой, упругопластической или вязкопластической постановках [5]. Однако, использование континуальных схем, в которых массив моделируется сплошной средой, является неудобным ввиду сложности реализации горного давления. Так, при создании в массиве напряжений от собственного веса, на обделку тоннеля глубокого заложения приходится давление всего массива (2) расположенного над обделкой. Такое давление, приходящее на обделку является неправильным, так как рядом работ установлено [9 – 11], что горное давление формируется сводом обрушения, возникающим при прохождении выработки.

Таким образом, для упрощения расчетов целесообразно использовать дискретные расчетные схемы в упругой (линейной) постановке. Использование таких схем довольно распространено при расчете обделок тоннелей. Усовершенствование таких схем выполнено при разработке методики учета дополнительных воздействий на обделку, расположенную в подрабатываемом массиве [12]. На рис. 3а приведена дискретная схема с основными действующими нагрузками, которые будут воздействовать на обделку тоннеля, расположенного в массиве с тектоническими нарушениями.

Взаимодействие конструкции и грунта в такой расчетной схеме моделируется упругими связями, длина которых  $l_{ui}$ ,  $l_{vi}$ , определяется в зависимости от размеров зоны активного давления. Действующие нагрузки передаются на связи продольными силами  $u_i$ ,  $v_i$ . В результате упругой работы последних выполняется поджатие на соответствующие величины  $\Delta l_{ui}$ ,  $\Delta l_{vi}$  опорных узлов. Происходящие деформации в элементах, моделирующих грунт, зависят от заданных характеристик  $E\Gamma_r$ . Последующие деформации и усилия в конструкции обделки образуются путем передачи деформаций с грунтовых элементов через контактные узлы. Соответственно величина деформации обделки и величины возникающих усилий зависят от жесткости обделки.



**Рис. 3. Нагрузочная схема взаимодействия обделки с грунтовым массивом в зонах тектонических нарушений: а) общая схема; б) передача нагрузки от веса грунта; в) передача нагрузки от тектонических воздействий**

По предложенной схеме можно задавать как горное давление (рис. 3б), так и тектонические воздействия (рис. 3в) на контур подземных сооружений. Расчет по предложенной методике можно выполнить при помощи отечественных программ Scad, Лира, реализующих метод перемещений в форме МКЭ в соответствии с действующими государственными нормами и требованиями.

### Выводы

1. Разработанный метод основан на контактном взаимодействии обделки и породного массива, составляющих единую деформированную систему, что отвечает современному подходу исследования подземных сооружений.

2. Применение метода позволяет учесть: технологию проведения и закрепления выработки, жесткостные характеристики конструкций и массива.

3. Дискретная схема, используемая в методе, обеспечивает достаточную точность расчетов, а также имеет определенные преимущества перед методами, основанными на континуальных схемах.

4. При применении методики можно получить оптимизированное сечение обделки любого типа и оптимизированное армирование железобетонных типов обделки.

5. Предложенная методика адекватно учитывает влияние тектонических нарушений на конструкции тоннелей и обеспечивает качественно новые условия работы, позволяющие при минимальных затратах повысить эксплуатационную надежность сооружения.

6. Разработанный метод позволит более экономично оценить влияние конкретных тектонических воздействий на различные подземные сооружения глубокого заложения, в том числе и тоннели.

7. Использование разработанного метода позволяет разработать мероприятия по защите конструкций тоннелей в массиве со значительными величинами напряженного состояния.

#### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Бодров Б.П. Кольцо в упругой среде / Бодров Б.П., Матэри Б.Ф. // Бюллетень метропроекта. – Москва: Метропроект. – 1936. – № 24. – С. 17 – 23.
2. Бурдзгла Н.Л. Метод расчета монолитных обделок тоннелей / Бурдзгла Н.Л. – М.: Стройиздат, 1968. – 221 с.
3. Давыдов С.С. Расчет и проектирование подземных конструкций / Давыдов С.С. – М.: Стройиздат, 1950. – 376с.
4. Орлов С.А. Расчет конструкций, лежащих на контуре кругового выреза в плоскости / Орлов С.А.: Исследования по теории сооружений / Сб. науч. трудов. – Москва: Стройиздат. – 1954. – №4. – С. 529-547.
5. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений / Булычев Н.С. – М.: Недра, 1982. – 270 с. – (Учебник для вузов).
6. Рамберг Х. Моделирование деформаций земной коры / Рамберг Х. – М.: Недра, 1970. – 224 с.
7. Динник А.Н. Устойчивость упругих систем / Динник А.Н. – М.: изд-во АН СССР, 1950. – 120 с.
8. Борисов А.А. Механика горных пород / Борисов А.А. – Л.: изд-во ЛГИ, 1968. – 101с. – (Учебное пособие).
9. Протодяконов М. М. Давление горных пород и рудничное крепление / Протодяконов М. М., Ч. 1. – М.: Новосибирск, 1933. – 164 с.
10. Руппeneйт К. В. Некоторые вопросы механики горных пород / Руппeneйт К. В. – М.: Углетехиздат, 1954. – 384 с.
11. Проявкин Е. Т. Давление горных пород и крепь стволов / Проявкин Е.Т. – М.: Углетехиздат, 1958. – 119 с.
12. Розенвассер Г.Р. Несущая способность сборных обделок коммуникационных тоннелей при их совместной работе с грунтовым массивом / Розенвассер Г.Р., Шамрин Ю.Е., Бессолов П.П., Шварц Л.М., Мазепин П.П. // Подземное и шахтное строительство. – М.: Стройиздат, 1991. - №2. – С. 25 – 26.

**УДК 624.151.5**

**Дьяков И.М., к.т.н., доцент**

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

#### **ОБЩИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ЖИВУЧЕСТИ КONTИНУАЛЬНЫХ ПОДПОРНЫХ СТЕН**

На основании теоретических и экспериментальных исследований в области работы континуальных подпорных стен с повреждениями рассмотрены подходы к оценке их живучести. Предложен метод оценки живучести. Определены повреждающие факторы и сценарии разрушения.

## **Континуальные подпорные стены, удерживающие конструкции, живучесть, прогрессирующее разрушение, повреждающий фактор**

### **ВВЕДЕНИЕ**

Оценка живучести особо ответственных конструкций, зданий и сооружений постепенно входит в практику проектирования и обследования их технического состояния. Так в соответствии с требованиями ДБН В.1.2-14-2009 [1]: «Главные несущие конструкции объектов классов последствий (ответственности) СС2 и СС3 должны быть запроектированы так, чтобы в аварийных ситуациях вероятность возникновения лавинообразных (прогрессирующих) разрушений несравнимо больших нежели начальные повреждения конструкций, была достаточно малой». При этом указывается, что это требование следует реализовывать, в том числе, за счет: «Проектирования объектов в целом так, чтобы в случае разрушения любого отдельного элемента весь объект или его самая ответственная часть сохраняли работоспособность в определенный период времени, достаточный для применения срочных мероприятий». Для выполнения этих требований необходимы методики оценки живучести соответствующих конструкций, зданий и сооружений.

Учитывая, что подпорные стены и удерживающие конструкции обеспечивают безопасность эксплуатации территорий, зданий и сооружений, расположенных выше или ниже по рельефу, многие из этих сооружений могут быть отнесены к классу последствий (ответственности) СС2 и СС3 по признакам, установленным в таблице 1 [1]. Соответственно требуется обеспечение их стойкости к прогрессирующему разрушению. Вместе с тем методик оценки живучести данных конструкций в настоящее время не существует.

### **АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ**

Исследованиям в области прогрессирующего разрушения строительных конструкций, зданий и сооружений посвящены работы: Н.С. Стрелецкого, Н.П. Абовского, В.И. Колчунова, Г.А. Гениева, Г.И. Шапиро, В.И. Травуша, Н.В. Клюевой, А.В. Перельмутера, П.Г. Еремеева, Б.С. Расторгуева, В.М. Бондаренко, Я.М. Айзенберга, Ю.И. Кудишина, В.О. Алмазова, А.И. Плотникова, А.Г. Тамразяна, В.М. Ройтмана, С.В. Доронина, В.В. Тура, В.К. Вострова, Ю.П. Назарова, В.Н. Симбиркина и др. В этих и других работах предложены методы оценки живучести ряда надземных конструкций, зданий и сооружений: высотных зданий, большепролетных и многопролетных сооружений, панельных и каркасных зданий. Исследования в области живучести сооружений и конструкций, взаимодействующих с грунтом, не проводились.

### **ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ**

Цель статьи: основываясь на экспериментальные и теоретические исследования разработать общие подходы к оценке живучести континуальных подпорных стен.

### **РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ**

Оценка живучести континуальных подпорных стен связана с рядом трудностей, в том числе, предопределенных сплошностью конструкции. Основные среди них:

- Неопределенность видов и уровня запредельных (не установленных нормами) воздействий, которые могут вызвать повреждения;
- Отсутствие отдельных элементов, для которых можно выделить единичные повреждения;
- Зависимость состояния и живучести сооружений от поведения грунтового основания и др.

Неопределенность запредельных воздействий является существенным аргументом в выборе подходов к оценке живучести. Из-за сложности

установления характера и величины таких воздействий, более реальными при разработке метода оценки живучести являются подходы, основанные на оценке работы сооружения с повреждениями. В настоящее время они широко применяются для надземных конструкций зданий и сооружений в методах оценки единичной живучести [2], [3], [4]. Данные подходы основаны на выявлении наиболее характерных повреждений и оценке их критичности для сооружения. Живучесть сооружения считается обеспеченной, если повреждение не приведет к дальнейшему лавинообразному разрушению.

Первичные разрушения (повреждения) связаны с воздействием повреждающих факторов, т.е. нагрузок или воздействий, действие которых приводит к возникновению единичных повреждений. Повреждающие факторы могут:

- формироваться в грунте откоса или массиве оползня, например за счет изменения свойств грунта, развития ползучести, дополнительного пригруза массива грунта и т.д.;
- воздействовать на основание сооружения, как элемент системы «грунтовый массив-сооружение-основание», либо быть связанным с поведением основания, например возникать вследствие неоднородности основания по длине сооружения, быть связанными с разработкой грунта у стены и т.д.;
- воздействовать на состояние сооружения, например, вызывая деградацию кладки, механические повреждения и т.д.;
- иметь групповой характер, одновременно воздействуя на сооружение со стороны основания и грунтового массива, в том числе имея единые причины происхождения. Например, групповые повреждающие факторы могут возникать вследствие воздействия атмосферных вод, сейсмических колебаний и т.д.

При оценке единичной живучести континуальных подпорных стен, абстрагироваться от причин возникновения повреждающих факторов не всегда возможно. Многие из них приводят к существенным изменениям в характеристиках элементов системы «грунтовый массив-сооружение-основание» и их силового взаимодействия. Так атмосферные осадки, формируя повреждающий фактор, зачастую приводят к увеличению активного давления на стену, изменениям характеристик грунтового основания, ухудшая работу сооружения в целом. Таким образом, при оценке живучести подпорной стены с повреждениями, в ряде случаев необходимо учитывать изменения в работе системы «грунтовый массив-конструкция-основание».

Важным моментом для формирования расчетной модели конструкции при оценке единичной живучести подпорных стен является выбор типа и параметров локальных повреждений. Проведенные исследования позволили выявить типичные для бутобетонных стен локальные повреждения: вывалы, участки с местной потерей устойчивости стены; крены стены на ограниченных участках; вертикальные и наклонные трещины, повреждения грунтового основания [3]. Наибольший интерес представляют вывалы и участки местной потери устойчивости, как одни из наиболее распространенных в бутобетонных подпорных стенах. С точки зрения последствий возникновения их можно рассматривать как однотипные повреждения. Наклонные, криволинейные, замкнутые и другие трещины требуют анализа с точки зрения их последующего развития и перехода в следующую стадию разрушения. Крены стены на ограниченных участках могут приводить как к последующим вывалам, так и опрокидыванию всей стены. Повреждения грунтового основания стены могут иметь как естественные природные причины, так и техногенный характер. Одними из распространенных причин повреждения техногенного происхождения являются земляные работы, проводимые возле стены, а природного характера – водная абразия и водная эрозия.

Таким образом, в первом приближении, оценку живучести континуальных подпорных стен целесообразно осуществлять в следующих направлениях:

- Оценка работы сооружения с вывалами (путем исключения из работы участка стены);
- Оценка работы стены с изменением конфигурации конструкции (с локальным креном участка стены);
- Оценка работы сооружения при изменении характеристик и сплошности грунтового основания.

Учитывая основное назначение подпорных стен – удержание откосов или массивов грунта, целесообразно использовать такие критерии потери живучести, как разрушение сооружения, просачивание грунта через повреждение, горизонтальные подвижки грунта совместно с изменением положения конструкции (опрокидыванием или сдвигом).

Выбор в расчетной модели вида и параметров повреждений зависит от решаемых задач. При расчетной оценке живучести существующей континуальной подпорной стены повреждения могут задаваться в соответствии с реальным состоянием сооружения. При оценке живучести проектируемого сооружения или сооружения без локальных разрушений, повреждения должны задаваться с учетом характеристик системы «грунтовой массив-сооружение-основание», вероятности возникновения тех или иных повреждений в данных инженерно-геологических и других условиях. В связи с высоким уровнем неопределенности параметров задаваемых в расчетной модели повреждений, требуются их нормирование. Такое нормирование должно быть основано на статистических данных, теоретических и экспериментальных исследованиях.

Для моделирования оценки живучести континуальной подпорной стены, на современном этапе целесообразно использовать программный комплекс «Plaxis 3D Foundation». Данная программа позволяет осуществлять поэтапное нагружение конструкции, в том числе внедрение в конструкцию повреждений, изменение параметров системы «грунтовой массив-сооружение-основание», максимально приближая численный эксперимент к реальным условиям и процессам. Преимуществами программы «Plaxis 3D Foundation» являются: использование нескольких типов конечных элементов для моделирования различных видов напластования грунтов; описание поведения грунта нелинейной моделью Кулона-Мора и др. Несмотря на то, что «Plaxis» не сертифицирован в Украине, он соответствует нормам Еврокода, а также имеет сертификат Госстандарта Российской Федерации.

Создание расчетной модели и расчет целесообразно осуществлять с использованием следующих этапов:

- Создание грунтового массива;
- Создание подпорной стены;
- Активация грунтового массива и подпорной стены;
- Активация повреждений в теле конструкции или грунтовом основании и внесение при необходимости изменений в характеристики грунтового основания, сооружения и массива грунта.

Другим вариантом может стать изначальное внесение измененных характеристик системы «грунтовой массив-конструкция-основание» с последующим внесением повреждений в конструкцию стены.

Введение изменений в характеристики системы «грунтовой массив-сооружение-основание» целесообразно осуществлять в том случае, если можно с определенной достоверностью установить, что локальные повреждения могут быть связаны с этими изменениями и они существенно влияют на работу всей системы.

Предварительные численные эксперименты по оценке живучести отдельных моделей подпорных стен из бутобетона позволили выявить некоторые сценарии разрушения, представленные в табл. 1. Развитие того или иного сценария зависит от большого количества факторов, в том числе от характеристик системы «грунтовой массив-сооружение-основание» и параметров единичных повреждений.

Таблица 1

**Сценарии разрушения системы «грунтовый массив-сооружение-основание» с подпорными стенами их бутобетона при оценке единичной живучести**

№ п/п	Вид повреждения (задаваемый)	Сценарий разрушения с выделением этапов		
		1	2	3
1.	Вывал ограниченного размера	Просачивание грунта	-	-
		Разрушение близлежащих участков стены	Полное разрушение сооружения	-
	Отказ участка основания	Вывал участка стены	Просачивание грунта	-
			Разрушение близлежащих участков стены	Полное разрушение конструкции
		Недопустимые перемещения грунта со стеной (сдвиг, опрокидывание)	-	-
		Разрушение стены	-	-
	Крен участка стены	Разрушение стены	-	-
		Вывал участка стены	Просачивание грунта	-
			Разрушение близлежащих участков стены	Полное разрушение конструкции
		Недопустимые перемещения грунта со стеной (опрокидывание)		

### Выводы

Высокий уровень ответственности значительного количества подпорных стен, в соответствии с нормативными актами Украины, предполагает оценку их живучести при аварийных и запредельных нагрузках и воздействиях, наличии повреждений. В то же время методики такой оценки отсутствуют.

Предложенный метод оценки живучести подпорных стен основан на понятии единичной живучести и дает возможность установить наиболее опасные повреждения, принять соответствующие меры к их предупреждению на стадии проектирования либо устранению на стадии реконструкции с целью повышения живучести сооружений.

Предварительные числовые эксперименты в программном комплексе «Plaxis 3D Foundation» позволили выявить характерные сценарии разрушения системы «грунтовый массив-сооружение-основание» с подпорными стенами из бутобетона. Расчеты заканчивались такими этапами, как: разрушение сооружения, недопустимые перемещения грунта совместно с сооружением; просачивание грунта в образовавшееся повреждение.

Возникновение повреждающих факторов связано с теми или иными изменениями в системе «грунтовый массив-сооружение-основание». Поэтому в некоторых случаях в расчете сооружений на единичную живучесть необходимо учитывать изменения в элементах системы, произошедшие вместе с возникновением повреждений и имеющие общие причины происхождения. Как правило, это касается изменений, связанных с воздействием на грунтовый массив и основание сооружения грунтовых вод, пригрузом массива сверху, повреждения участка основания и др.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ДБН В.1.2-14-2009. Общие принципы обеспечения надежности и конструктивной безопасности зданий, сооружений строительных конструкций и оснований. К.: Мінрегіонбуд України, 2009.- 41 с.

2. Ключева Н.В. Основы теории живучести железобетонных систем при внезапных запроектных воздействиях: Автореф. дис. д-ра техн. наук./ Н.В.Ключева. – ОГТУ. – Орел. – 2009. – 33 с.
3. Назаров Ю.П. К проблеме обеспечения живучести строительных конструкций при аварийных воздействиях / Ю.П.Назаров, А.С.Городецкий, В.Н. Симбиркин // Строительная механика и расчет сооружений. – 2009. – № 4. – С. 5 - 9.
4. Кудишин Ю.И., Дробот Д.Ю. К вопросу о живучести строительных конструкций // Строительная механика и расчет сооружений. – 2008. – № 2 (217). – С. 36 - 43.
5. Дьяков И.М. Виды и причины локального разрушения гравитационных подпорных стен в сложных инженерно-геологических условиях Крыма / И.М. Дьяков, Д.А.Мравец // Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов. — Симферополь : НАПКС, 2011. -Вып. 37. - С. 80-88.

**УДК 550.311:551.24**

**Ковалев А.А., аспирант**

*Национальная Академия природоохранного и курортного строительства.*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗДАНИЯ СПОСОБОМ ЕДИНИЧНОГО СКАЧКА**

Экспериментальным путем определены динамические характеристики здания способом единичного скачка

**динамическая паспортизация, единичный скачек, спектр**

### **ВВЕДЕНИЕ**

По количеству жертв и пострадавших, вызванных природными катастрофами, лидирующее положение в этом «черном» списке принадлежит землетрясениям и вызванным ими последствиям. Человек не научился пока предотвращать или предсказывать землетрясения. Единственным средством защиты от них является обеспечение сейсмостойкости зданий и сооружений. В пределах Украины Крым является наиболее сейсмоуязвимым регионом, свидетельством чего служат каталоги сильных землетрясений прошлого и современные карты сейсмического районирования. Для обеспечения сейсмобезопасности объектов региона необходимо периодическое проведение "стресс-тестов", не допускающих остаточных деформаций. Особенно актуально это для объектов повышенной ответственности, но нужно также для существующих и строящихся гражданских и промышленных зданий. Динамическая паспортизация (ДП), включенная в строительные нормы (ДБН В.1.1-12:2006 – п. 1.3.3) [1], призвана быть эффективным средством контроля сейсмической и механической устойчивости зданий и сооружений.

Для разработки методики ДП и ее успешного применения необходимо решить ряд задач: выбор способа возбуждения сооружения, совмещение территориального зонирования с динамическими характеристиками конструкций, разработка рекомендаций по локальному усилению конструкций, обработка данных в единицах измерения, удобных для конструкторов и проектировщиков. Необходимо разносторонне проработать каждую из этих задач, решив ее экспериментальным и аналитическим путями. Требуется объединить полученные результаты в единый инструмент, который позволит надежно, быстро и точно определять (и прогнозировать) поведение конструкций сооружения в динамике, наблюдать динамику изменения однородности конструкции, выявлять напряженности в материале [2].

### ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

При выборе способа возбуждения конструкции необходимо учитывать его аналитическую обоснованность, экономичность, удобство использования. Опыт наших работ позволяет рекомендовать в данном случае "способ **единичного скачка**". С одной стороны, он может быть реализован для конкретного сооружения, с другой – имеет достаточно строгое теоретическое обоснование.

В предыдущих работах с применением калиброванной аппаратуры экспериментальным путем было показано, что отклик на единичный скачек приводит непосредственно к **определению частотной характеристики** [3].

Решение уравнения свертки  $\int_0^t K(t-\tau)x(\tau)d\tau = y(t)$  соответствующее возбуждению

$$x(t) \equiv U(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t < 0 \\ 1 & \text{при } t > 0 \end{cases}, \quad (1)$$

называется откликом  $q(t)$  на единичный скачок, описывающим переход системы под влиянием скачкообразного воздействия из состояния покоя в состояние возбуждения. В соответствии с этим

$$q(t) = \int_0^t K(t-\tau)U(\tau)d\tau = \int_0^t K(\tau)d\tau,$$

откуда следует простая связь между откликом на единичный скачок и импульсной переходной характеристикой:

$$K(t) = \frac{d}{dt}q(t) \quad (2)$$

В случае, когда отклик на единичный скачок известен аналитически, численно или экспериментально, можно определить отклик  $y(t)$  на любое возбуждение  $x(t)$ , что непосредственно следует из формулы (1) после подстановки в нее значения  $K(t)$ , определяемого формулой (2).[4]

Рассмотрим возможность получения частотной характеристики объекта с помощью единичного скачка на примере реального здания в северо-восточном районе г. Симферополя (рис. 1).



**Рис.1. Объект исследования**

Исследуемое здание является частным жилым домом для одной семьи. Характеристика объекта: двухэтажное здание с мансардой и подвальным этажом (высота этажа 3.000), размеры в плане 9x10 м, фундамент ленточный, заглубленный на 3,8 м,

конструктивная схема – каркасно-каменная, заполнитель – блоки из пиленого ракушника, на полу залита цементно-песчаная стяжка  $\delta = 50 \text{ мм}$  и устроены «теплые полы».

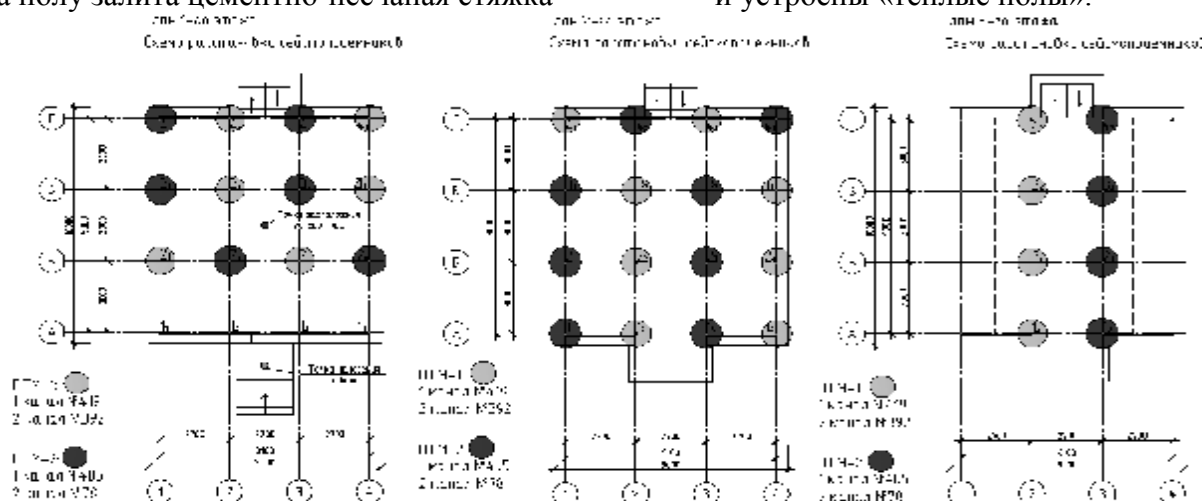


Рис. 2 Схемы расстановки сейсмоприемников

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Для применения способа единичного скачка здание в уровне пола первого этажа обвязывалось стальным тросом  $\varnothing=5\text{мм}$ , на втором конце которого были последовательно закреплены металлическая вставка, динамометр и лебедка. Лебедка крепилась к бетонному блоку на расстоянии 30 м от здания. Посредством лебедки задавалось натяжение троса с заданным усилием 4 кН, затем перерезалась металлическая вставка, и происходил резкий сброс нагрузки. После этого вставка обновлялась и эксперимент повторялся. В результате такого скачкообразного воздействия здание переходило из состояния покоя в состояние возбуждения, что позволяло регистрировать его собственные затухающие колебания. Регистрация велась при помощи двух комплектов сейсмоприемников СМЗ-КВ, которые устанавливались согласно нанесенной сетке (3x2,7 м) в 16 точках на первом и втором этажах и в 8 точках на мансардном этаже (рис.2). Пример записей, полученных одним комплектом, представлен на рис.3.

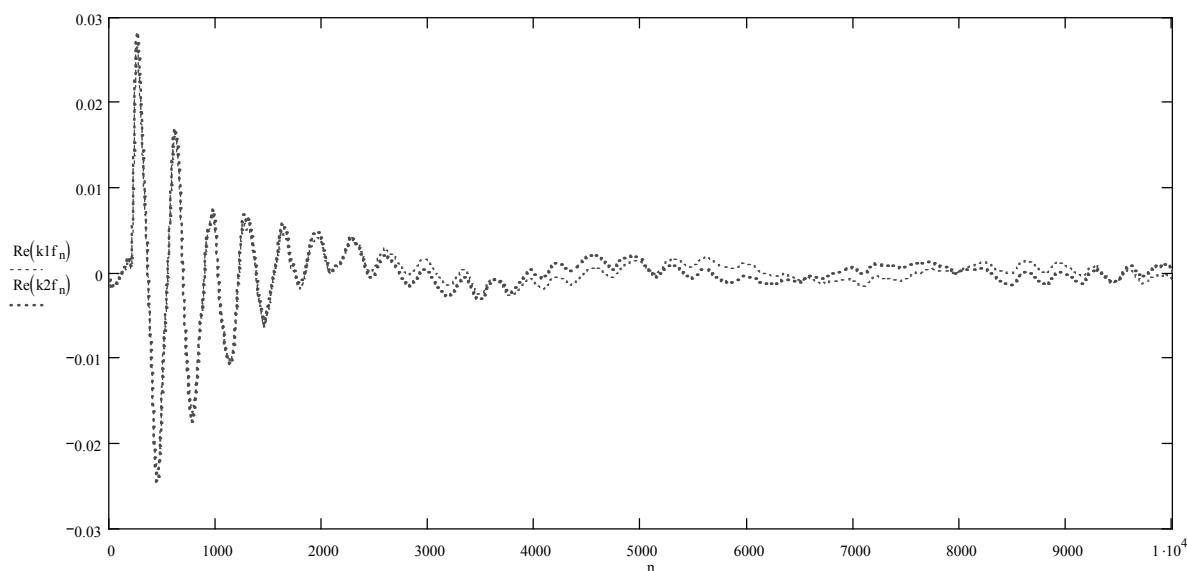
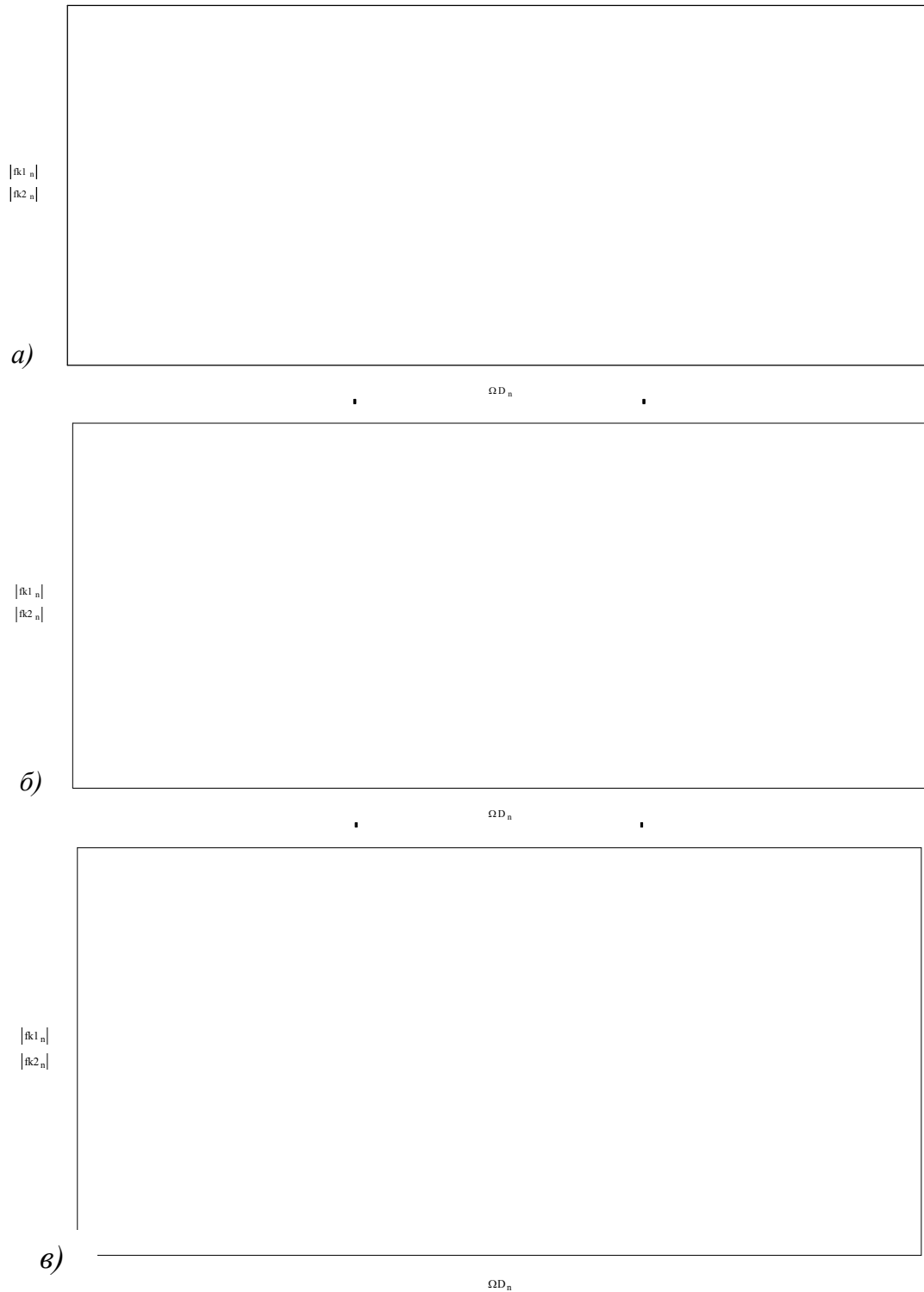


Рис. 3. Копия записи отклика здания на единичный скачек в точке 3.3 на мансардном этаже двумя параллельными идентифицированными сейсмоприемниками.

В результате обработки этих записей были получены спектры откликов здания (рис.4) на динамическую нагрузку. Приведены примеры спектров, полученных на разных этажах. Несмотря на наличие в доме теплых полов, которые могли бы играть роль

механической развязки между железобетонным перекрытием и поверхностью пола, полученные спектры являются весьма информативными. На них четко видны два максимума: первый на частоте 0,7 Гц, что соответствует собственной частоте маятника сейсмоприемника; второй на частоте 6 Гц, которая характеризует основную колебательную систему – здание. Достоверность полученных результатов подтверждается высоким качеством настройки идентичности двух параллельных каналов, установленных в каждой точке наблюдений (см. рис.3 и 4).



**Рис. 4. Спектры отклика здания в точках 4.2 на первом этаже - а; 2.2 на втором этаже - б; 3.3 (мансардный этаж) - в.**

## Выводы

Экспериментально с применением способа единичного скачка проведено обследование и получены с высокой степенью надежности динамические характеристики реального здания. Результаты справедливы для зданий малой этажности правильной формы, что является первым шагом к разработке методики ДП. Изучение зданий сложной конфигурации и большей этажности будет темой дальнейших исследований.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ДБН В.1.1-12: 2006. 84 с. «Строительство в сейсмических районах Украины». ГП «Укрархбудинформ».
2. Бугаевский Г.Н., Волосович О.В., Бугаевский А.Г. «Динамическая паспортизация зданий и сооружений - основа повышения качества строительства объектов». НАПКС сборник научных трудов выпуск №24-25. с. 10-13.
3. Разработка методики возбуждений колебаний зданий и сооружений для проведения динамической паспортизации./ Ковалев А.А., Агапов В.Н.//– Симферополь: НАПКС, 2011.– Вып. 35.– С. 157–166).
4. Шулбаев А.Н. «Алгоритмы решения обратной задачи сейсмометрии». Диссертация на соискание научной степени кандидата физ.-мат. наук. Киев, 1982 г., 105 с. Спецсовет Института геофизики АН УССР по защита диссертаций; научный руководитель доктор физико-математических наук, профессор Бугаевский Г.Н.

**УДК 699.841:624.042.8**

**Литвинова Э.В. , Литвинов Б.А.**

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

## **ИННОВАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ СЕЙСМОЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ЗА РУБЕЖОМ**

Приведены классификация и инновационные конструктивные решения систем сейсмозащиты зданий и сооружений. В настоящее время наиболее эффективным и экономически целесообразным инструментом в сейсмостойком строительстве является контроль сейсмической нагрузки и, в частности, сейсмическая изоляция, позволяющая возводить сравнительно легкие и недорогие постройки.

**сейсмозащита, сейсмоизоляция, сейсмостойкость, конструктивная сейсмобезопасность, пространственная фундаментная платформа (ПФП), стационарные и адаптивные системы**

## **ВВЕДЕНИЕ**

Задачу уменьшения материального и социального ущерба от сильных землетрясений решают двумя путями: развитием прогноза землетрясения и строительством сейсмостойких зданий и сооружений.

Методы обеспечения сейсмостойкости [4]:

1. организационные – защита от землетрясений;
2. инженерные – сочетание расчетов и эмпирических решений: особых конструктивных и объемно–планировочных схем;
3. экономические;
4. комбинированные.

Строительство в сейсмических районах требует строгого подхода и повышенного контроля к качеству работ, поэтому антисейсмические мероприятия необходимо строго выполнять в процессе возведения и в ходе эксплуатации объекта

В настоящее время наиболее эффективным и экономически целесообразным инструментом в сейсмостойком строительстве является контроль сейсмической нагрузки и, в частности, сейсмическая изоляция, позволяющая возводить сравнительно легкие и недорогие постройки.

Сейсмоизоляция – это современная технология сейсмической защиты, обеспечивающая снижение сейсмического воздействия на сооружения при землетрясении и доказавшая свою эффективность и экономическую конкурентоспособность по сравнению с обычными способами обеспечения сейсмостойкости различных сооружений, таких, как мосты, гражданские здания, исторические памятники и ответственные сооружения [7].

#### **АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ**

На сегодняшний день известно более 100 запатентованных конструктивных решений, которые позволяют значительно снизить сейсмические нагрузки на здания и сооружения, обеспечив их сейсмобезопасность [1–3, 5–8]. Специалистами Украины, России и зарубежных стран предложены разнообразные устройства систем сейсмоизоляции и гасители энергии колебаний сооружений, а также системы с использованием сплавов, запоминающих объемное состояние, и другие «интеллектуальные» системы [9].

#### **ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ.**

##### **МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ**

Повышение сейсмозащищенности зданий и сооружений может быть обеспечено путем выведения спектра его собственных колебаний за пределы наиболее интенсивных участков спектров реальных интенсивных землетрясений данного региона. Эту задачу можно решать, во–первых, путем повышения жесткости здания вместе с фундаментом, во–вторых, с помощью уменьшения жесткости конструкции выводящей собственные колебания здания в область более низких частот. Каждый вид решения имеет множество недостатков, заключающихся, прежде всего, в недостаточном их теоретическом и экспериментальном обосновании.

В связи с этим, основной целью настоящей статьи является проведение обобщения наработанного в мире опыта повышения сейсмостойкости строений путем анализа существующих методов и способов защиты зданий и сооружений как существующих, так и проектируемых и возводимых в сейсмически опасных районах, с помощью применения различных видов сейсмоизоляции и сейсмогасителей.

##### **РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ**

Устройства сейсмоизоляции превращают изолируемый объект в колебательную систему, собственную частоту свободных колебаний которой определяют соотношением геометрических параметров устройства сейсмоизоляции. Выбором этих параметров можно придать изолируемому объект частоту собственных колебаний, значение которой может принадлежать широкому интервалу. В принципе можно выбрать частоту, выводящую объект из диапазона частот сейсмических колебаний, опасных в данном регионе, однако это не может дать полной гарантии исключения явления резонанса. В таком случае устройство сейсмоизоляции может не улучшить, а ухудшить сейсмозащищенность объекта.

В районах повышенной сейсмичности и сложных грунтовых условий целесообразно вместо приспособления традиционных конструкций развивать новые конструктивные решения, в первую очередь фундаменты и сейсмозащитные устройства, снижающие сейсмические воздействия. Необходимо развивать применение конструкций и методов конструктивной сейсмобезопасности, используя как новые, так и древнейшие подходы. К таким подходам и принципам относятся [5, 6]:

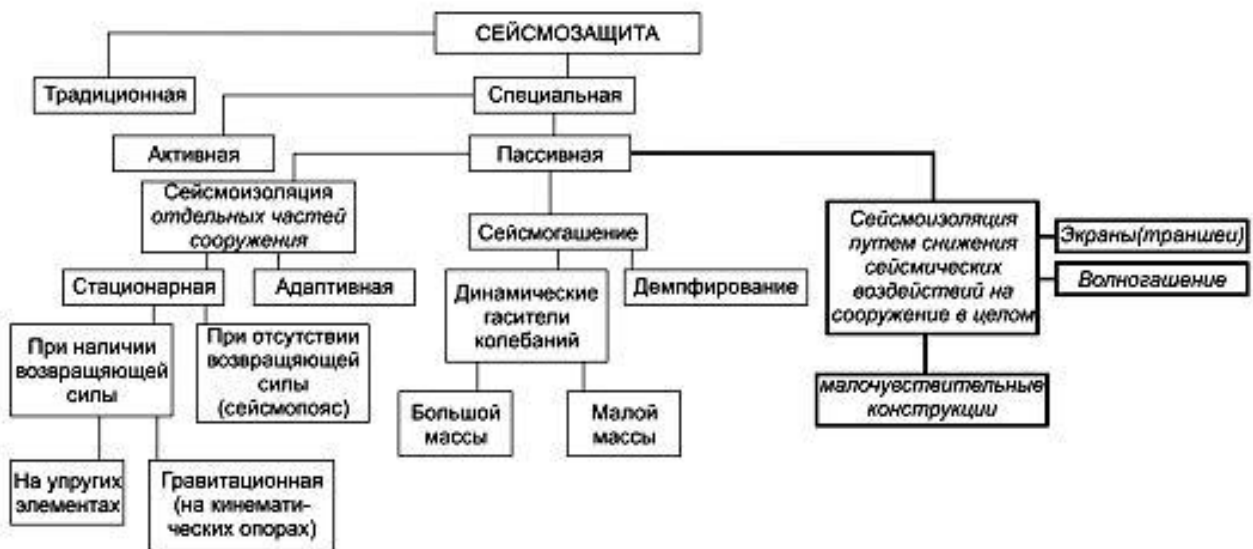
— рациональное пространственное формообразование цельной единой системы «фундамент–здание», в том числе многосвязанных замкнутых систем;

— разработка конструкций, малочувствительных к негативным сейсмическим воздействиям, в том числе пространственные фундаментные платформы (ПФП) на скользящем слое, расположенном между основанием и платформой;

— первоочередное использование таких сейсмозащитных устройств, которые снижают (или предотвращают) передачу энергии сейсмических колебаний на фундамент и систему в целом.

Таким устройствам целесообразно отдавать предпочтение по сравнению с традиционной сейсмоизоляцией, которая снижает воздействие на отдельные части здания.

Профессором А. М. Уздиным была предложена в 1993 году схема классификации сейсмозащиты, в которой не были предусмотрены способы внешнего снижения сейсмических воздействий и защитные устройства (экраны), в том числе малочувствительные конструкции, траншеи, фундаментные волногасящие платформы (рис. 1) [1, 2, 8].



**Рис. 1. Дополненная классификация систем сейсмозащиты по принципу их работы (по проф. Абовскому Н. П., Сибирский федеральный университет)**

При традиционной сейсмозащите используемые внутри здания устройства для прерывания или рассеивания энергетического потока ослабляют цельность системы, разделяя одни части от других. Они являются как бы инородными включениями, которые при отсутствии сейсмике не нужны, других функций не выполняют и удорожают строительство. Например, установка демпферов или кинематических опор над фундаментом, или устройства гравийной подушки над свайным ростверком или скользящих поясов над фундаментом на металлических пластинах с упругими и жесткими демпферами – это традиционные примеры сейсмоизоляции, которые расчленяют систему на части и ослабляют ее. Применяемые современные демпфирующие устройства, как правило, являются неконструктивными, т. е. дополнительными элементами. Новые устройства, например пространственная фундаментная платформа (ПФП) на скользящем слое, являются частью системы, которая укрепляет цельность всей системы и выполняет ряд конструктивных и эксплуатационных функций, как при наличии, так и отсутствии сейсмике [3, 5, 6].

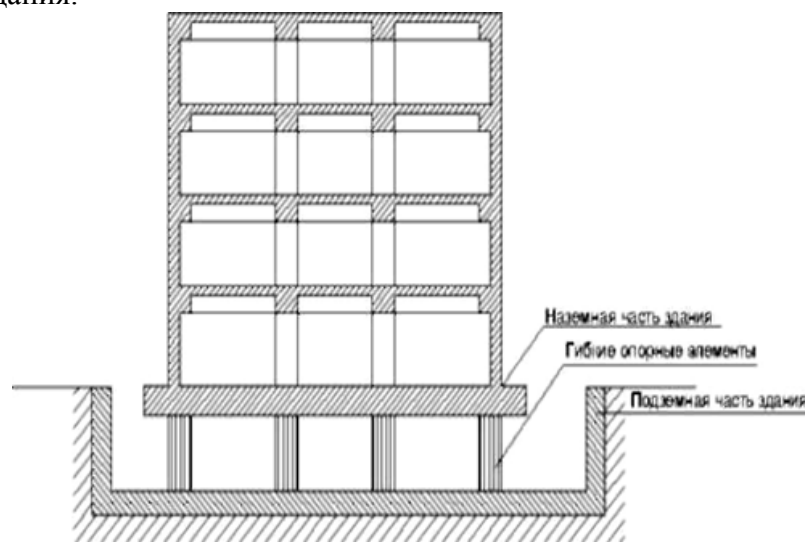
Существующие системы сейсмоизоляции на основании принятой выше классификации подразделяются на две группы [3]: адаптивные и стационарные.

Причем стационарные системы могут иметь или не иметь возвращающую силу, действующую на сейсмоизолированные части сооружения. Приведем некоторые конструктивные примеры, иллюстрирующие принцип работы систем сейсмоизоляции.

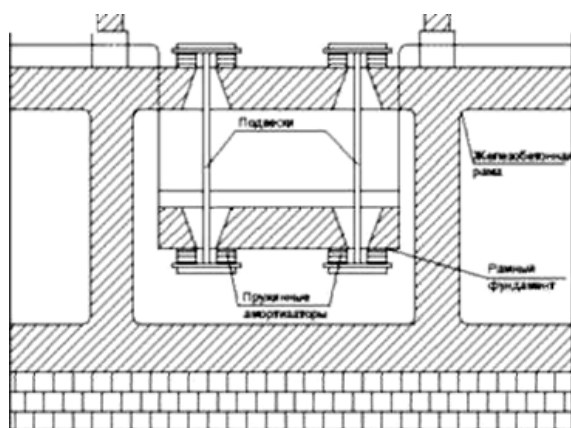
1. Наиболее типичным приемом устройства сейсмоизоляции при наличии возвращающей силы являются здания с гибким нижним этажом. Гибкий этаж может быть выполнен в виде каркасных стоек, упругих опор, свай и т. п. (рис. 2). Конструкция состоит из гибких опор, выполненных из пакета упругих стержней небольшого диаметра, размещенных между надземной и подземной частями здания.

2. Упругие опорные элементы в виде подвесок использованы в здании по проекту Ф. Д. Зеленкова в Ашхабаде (рис. 3).

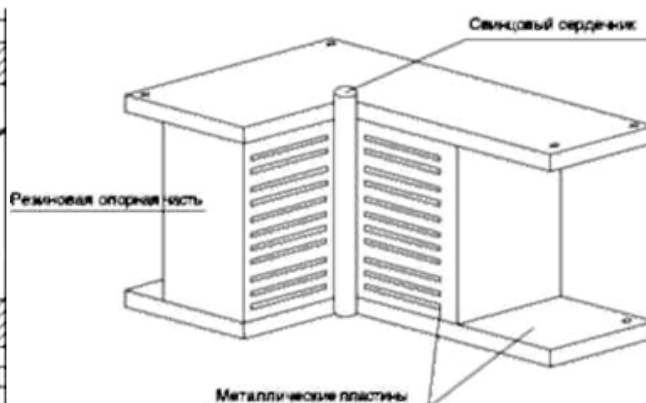
3. Здания на резинометаллических опорных частях получили широкое распространение за рубежом: в Японии, Англии, Франции (рис. 4). Исследования сооружений на резинометаллических опорах указывают на их высокую надежность, однако стоимость самих фундаментов оказывается значительной и может достигать 30% от стоимости здания.



**Рис. 2. Здание с гибким нижним этажом**



**Рис. 3. Схема фундамента подвесного типа**



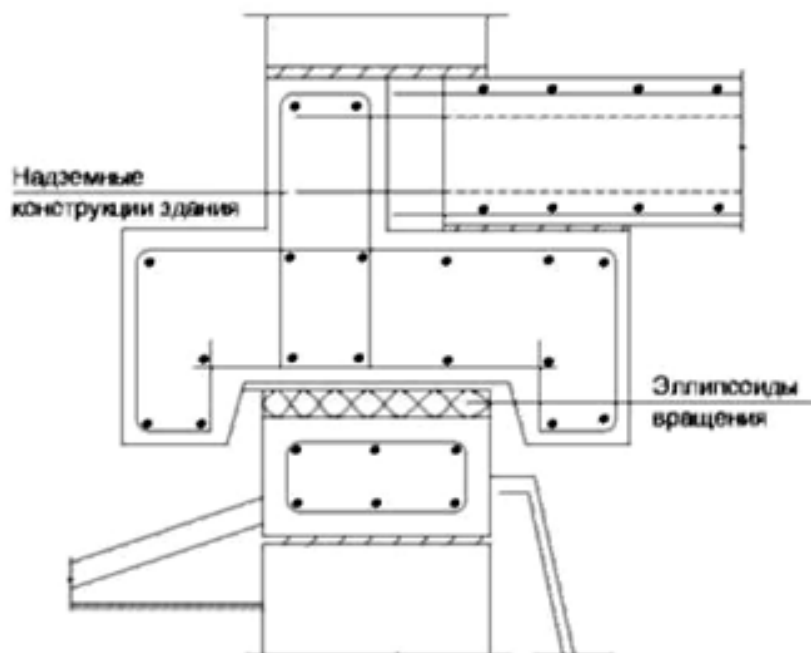
**Рис. 4. Антисейсмическая опора**

4. Серьезной проблемой при проектировании сооружений на упругих опорах явилась сложность обеспечения их прочности при значительных взаимных смещениях сейсмоизолированных частей фундамента. Это послужило причиной широкого распространения кинематических опор при сооружении сейсмоизолирующих фундаментов. Здания на гравитационных кинематических опорах были построены в Севастополе, Навои, Алма-Ате, Петропавловске-Камчатском. На рис. 5 подвижные опорные части в виде эллипсоидов вращения размещены между надземной частью здания и фундаментом. Принцип действия такой конструкции состоит в том, что во время землетрясения центр тяжести опор поднимается, в результате чего образуется гравитационная восстанавливающая сила. При этом колебания здания происходят около

положения равновесия, и их начальная частота и период зависят от геометрических размеров опор.

Необходимо отметить, что построенные фундаменты этого типа не имеют специальных демпфирующих устройств, и при длиннопериодных воздействиях силой более 8 баллов, согласно выполненным расчетам, возможно падение здания с опор. Это указывает на опасность фундаментов на кинематических опорах, если в них не предусмотрены дополнительные демпфирующие элементы.

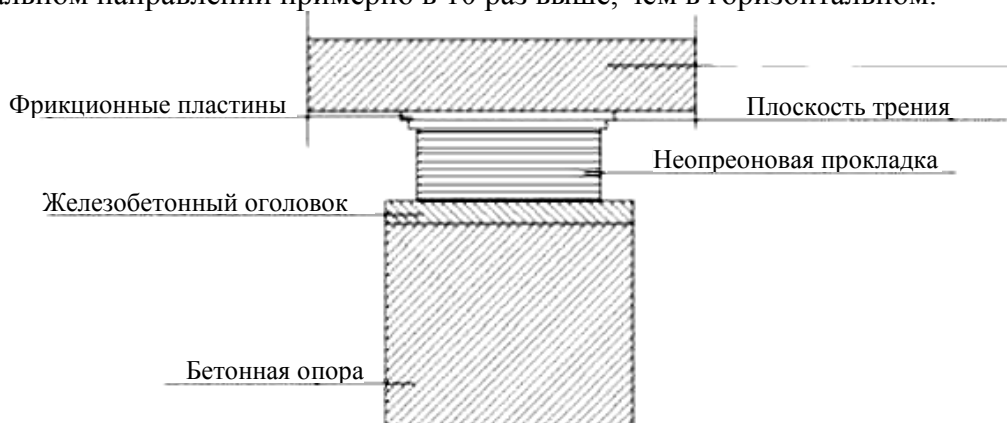
При значительном объеме строительства зданий и сооружений с сейсмоизоляцией на упругих кинематических опорах до настоящего времени отсутствуют данные об их поведении при землетрясениях, а имевшие место разрушения таких зданий указывают на необходимость детального обоснования их сейсмостойкости.



**Рис. 5. Сейсмоизоляция гравитационного типа**

Сейсмоизоляция, не обеспечивающая возвращающей силы, действующей на сейсмоизолированные части конструкции, реализуется путем устройства скользящего пояса. Одно из наиболее известных технических решений такого типа – сейсмоизолирующий фундамент фирмы Spie Batignolle и Electricité de France.

Конструкция антисейсмической фрикционной опоры показана на рис. 6. Опора, поддерживающая верхнюю фундаментную плиту, состоит из фрикционных плит, армированной прокладки из эластомера (неопрена), нижней фундаментной плиты, бетонной стойки, опирающейся на нижнюю фундаментную плиту. Жесткость опор в вертикальном направлении примерно в 10 раз выше, чем в горизонтальном.



**Рис. 6. Сейсмоизолирующий фундамент фирмы Spie Batignolle**

К настоящему времени с применением сейсмоизолирующих опор указанного типа построены здания АЭС в г. Круа (Франция) и в г. Кольберг (ЮАР).

Сейсмоизолирующий фундамент фирмы Spie Batignolle является классическим примером сейсмоизоляции с последовательным расположением упругих и демпфирующих элементов. При относительно слабых воздействиях, когда горизонтальная нагрузка на опорную часть не превосходит сил трения, система работает в линейной области; при увеличении нагрузки сила трения преодолевается и происходит проскальзывание верхней фундаментной плиты относительно нижней. При этом удается в несколько раз снизить нагрузки на оборудование и здание.

Несмотря на ряд достоинств сейсмоизолирующего фундамента Spie Batignolle, рассмотренная конструкция имеет ряд недостатков. Критический анализ французского решения имеется, в нем, в частности, отмечается, что выполненные теоретические расчеты фундамента производились на высокочастотные воздействия, при этом взаимные смещения фундаментных плит не превосходили 20 см.

В качестве конструктивных недостатков фундамента следует отметить невозможность избежать неравномерного давления на опоры при строительстве на нескальных грунтах, отсутствие средств регулирования сил трения, сложность смены прокладок во время эксплуатации.

В адаптивных системах сейсмоизоляции динамические характеристики сооружения необратимо меняются в процессе землетрясения, «приспосабливаясь» к сейсмическому воздействию. Особенности работы такой сейсмоизоляции детально исследованы в работах Я. М. Айзенберга [1, 2].

В нижней части здания между несущими стойками нижнего этажа установлены связевые панели, отключающиеся при интенсивных сейсмических воздействиях, когда в спектре воздействия преобладают периоды, равные или близкие к периоду свободных колебаний сооружения. После отключения панелей частота свободных колебаний падает, период колебаний увеличивается, происходит снижение сейсмической нагрузки. При низкочастотном воздействии период собственных колебаний здания со связевыми панелями значительно ниже величин преобладающих периодов колебаний грунта, поэтому резонансные явления проявляются слабо и связевые панели не разрушаются (рис. 7).

Применение выключающихся связей наиболее эффективно в том случае, когда уверенно прогнозируется частотный состав ожидаемого сейсмического воздействия. В качестве недостатков необходимо отметить, что после разрушения выключающихся связей во время землетрясения необходимо их восстановление, что не всегда практически осуществимо. Кроме того, как известно, в некоторых случаях в процессе землетрясения в его заключительной стадии происходит снижение преобладающей частоты воздействия. Вследствие этого возможно возникновение вторичного резонанса и потеря несущей способности конструкций здания. В этом случае требуется применение конструктивных мероприятий, что приводит к дополнительным затратам на строительство [1].

Традиционные методы получили широкое распространение в различных странах, подверженных сейсмической опасности, и являются общепризнанными.

В системах сейсмогашения, включающих демпферы и динамические гасители, механическая энергия колеблющейся конструкции переходит в другие виды энергии, что приводит к демпфированию колебаний, или перераспределяется от защищаемой конструкции к гасителю.

В системах сейсмоизоляции обеспечивается снижение механической энергии, получаемой конструкцией от основания, путем отстройки частот колебаний сооружения от преобладающих частот воздействия. Различают адаптивные и стационарные системы сейсмоизоляции. В адаптивных системах динамические характеристики сооружения необратимо меняются в процессе землетрясения, «приспосабливаясь» к сейсмическому

воздействию. В стационарных системах динамические характеристики сохраняются в процессе землетрясения [5, 6].

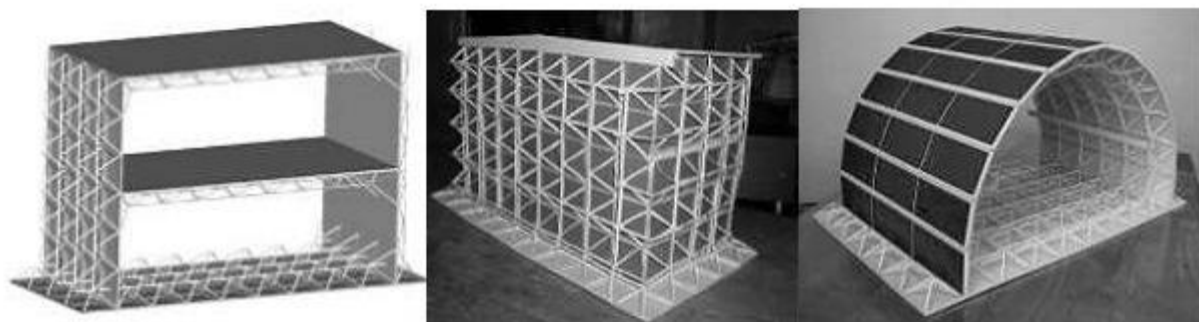
Наибольшее распространение среди систем стационарной сейсмоизоляции получили сейсмоизолирующие фундаменты (СФ), которые достаточно широко применяются в отечественной и зарубежной практике сейсмостойкого строительства (рис. 8).

Нетрадиционный подход к сейсмозащите нацелен на полную изоляцию от сейсмических воздействий всей системы «здание–фундамент» при сохранении и использовании естественных свойств слабых грунтов. В этом случае происходит отделение здания не от фундамента, а от основания, которое служит источником сейсмического возбуждения [5].

Использование устройства должно быть эффективно как при наличии, так и при отсутствии сейсмике, защищая от неравномерных деформаций грунтов и практически от полного спектра сейсмических воздействий и повторяемости.

Нетрадиционное защитное устройство является неотъемлемым элементом системы «здание–фундамент», которая конструируется как пространственное многосвязное здание замкнутого типа.

Одним из примеров эффективных вариантов такого подхода является применение пространственных фундаментных платформ (ПФП) на скользящем слое, объединенных с верхним строением в здание замкнутого типа. Скользящий слой под ПФП препятствует возникновению больших горизонтальных сейсмических воздействий за счет снижения тангенциальных (сдвиговых) связей между ПФП и основанием [5].



**Рис. 8. Примеры многосвязных зданий замкнутого типа, объединенных с ПФП**

Разработанные ПФП благодаря большой жесткости обладают повышенной распределительной способностью и оказывают малое давление на основание, даже при строительстве на слабых грунтах. Также малочувствительны к неравномерным деформациям грунтов, включая локальные просадки. Опыт исследования и проектирования ПФП показал, что использование свай под ПФП не требуется. Мощная сейсмическая волна проскальзывает под ПФП на скользящем слое. Опасность несимметричных, крутильных и других сейсмических воздействий снижена. Устойчивость здания может быть обеспечена за счет размеров ПФП [5]. Однако специальные методы сейсмозащиты во многих случаях позволяют снизить затраты на усиление и повысить надежность возводимых конструкций. В последние десятилетия в Японии, США, Новой Зеландии, странах СНГ предложены десятки различных технических решений специальной сейсмозащиты зданий и инженерных сооружений. Многие из этих предложений реализованы на практике [7].

Разнообразные современные системы сейсмоизоляции были разработаны и используются в России. До конца 90–х годов XX в. Россия и страны бывшего СССР занимали первое место в мире по числу сейсмоизолированных зданий. Сегодня Российская Федерация занимает второе место в мире по количеству построенных сооружений с системами сейсмоизоляции – 550 объектов, включая 70 сейсмоизолированных мостов [7, 9].

В Японии первые исследования сейсмоизоляции сооружений в современном представлении были начаты в 1981 г. Специалисты основных строительных корпораций страны начали исследования и разработку систем сейсмоизоляции в 1983–1984 гг., и только в 1986 г. первые несколько сейсмоизолированных зданий были одновременно построены различными строительными компаниями. К концу 1994 г. было построено около 80 таких зданий, расположенных главным образом в районе г. Токио [7].

В 2000 г. системы сейсмоизоляции стали использовать при сооружении высотных зданий, под искусственными площадками для большой группы зданий, в небольших частных деревянных домах и др. Кроме того, сейсмоизоляция стала использоваться при оборудовании мест, предназначенных для произведений искусства, автоматических складов хранения товаров и оборудования, на маяках.

Япония, благодаря правительственной программе поддержки научных исследований по разработке инновационных технологий сейсмоизоляции зданий и выходу в свет норм проектирования сейсмоизолированных сооружений, вышла на первое место в мире по количеству построенных изолированных объектов – свыше 3000 сооружений. Следует отметить высокий технологический уровень сейсмоизоляции в Японии.

Первое сейсмоизолированное здание в Китае было построено в 1993 г. По количеству использования систем сейсмоизоляции в сооружениях Китай сегодня занимает третье место в мире. Общее количество сейсмоизолированных сооружений достигло 490, из них 270 зданий с надземной частью из кирпичной кладки. Сооружено 9 железнодорожных и автодорожных мостов с различными системами сейсмоизоляции. Особенно активно сейсмоизоляция применяется в теплых зданиях [7].

Оригинальным решением стало предложение создать сейсмически изолированную искусственную площадку в виде платформы. Была запроектирована и построена двухэтажная железобетонная каркасная платформа, предназначенная для размещения на ней оборудования и средств технического обслуживания железнодорожного вокзала и терминала метрополитена и обеспечения поглощения шума от движения поездов. Размер платформы составляет 1500 м в ширину и 2000 м в длину. Слой с резинометаллическими опорами расположен на верхнем этаже платформы. Над платформой построено 50 жилых домов. Общая площадь всех изолированных жилых домов около 480000 м<sup>2</sup>, что составляет самую большую в мире площадь с использованием сейсмоизоляции. Исходя из результатов расчета и экспериментальных исследований, использование изоляции между этажами явилось наилучшим вариантом из предложенных методов обеспечения сейсмостойкости сооружения в целом [7].

Первые проекты мостов и зданий с использованием сейсмической изоляции начали создаваться в Америке в начале 1980–х годов. В США построено около 100 сейсмоизолированных зданий. Использование сейсмоизоляции в США ограничивается главным образом сооружениями, к которым предъявляются повышенные требования сейсмостойкости [7].

Применение технологии регулирования сейсмической реакции более популярно при устройстве мостов, чем при возведении зданий. Так, в Северной Америке изолировано более 205 мостов (Соединенные Штаты, Канада, Мексика и Пуэрто-Рико).

В настоящее время Италия занимает пятое место по количеству объектов, построенных с системами сейсмоизоляции. Всего 33 сооружения. Применение сейсмоизоляции и других методов регулирования сейсмической реакции началось в Италии в 1975 г. в мостах и виадуках (виадук Somplago) и в 1981 г. в зданиях. В

начале 1990–х гг. было возведено уже более 150 объектов. В процессе проектирования и строительства находится большое количество зданий с системами изоляции. Среди них больницы, школы, жилые дома и исторические памятники [7].

Кроме того, системы изоляции, изготовленные в Италии, были разработаны и установлены на нескольких сооружениях в других странах.

Последние несколько лет сейсмическая изоляция очень интенсивно развивается в Армении, которая является пионером использования сейсмоизоляции среди развивающихся стран. Технология сейсмоизоляции находит широкое применение при возведении новых жилых зданий, школ, больниц и при усилении существующих сооружений [7].

Армения – одна из первых стран, где усиление существующих зданий было выполнено с использованием сейсмоизолирующих устройств в основании и на покрытии зданий без выселения жильцов. В настоящий момент в республике разрабатываются проекты, и осуществляется строительство нескольких 10–20–этажных зданий многофункционального назначения с системами сейсмоизоляции в виде резинометаллических опор.

Следует также отметить большой интерес применения в сооружениях систем сейсмоизоляции и регулирования сейсмической реакции на Тайване, в Новой Зеландии, Турции, Чили, Греции, Португалии, Мексике, Иране.

#### **Выводы**

Развитие инструментальной сейсмологии, углубление понимания целей и критериев антисейсмического проектирования, методов динамики сооружений, компьютеризация исследований, появление новых материалов – стали основой для создания современной, научно обоснованной теории сейсмоизоляции и для широкого применения сейсмоизоляции на практике. Применение сейсмоизоляции и сейсмозащиты при правильном проектировании значительно повышают надежность зданий; сохранность и надежность оборудования, экономические показатели зданий, отсутствие необходимости восстановительных работ после сильных землетрясений, комфорт для жителей.

В сейсмических регионах мира возрос интерес к обеспечению сейсмостойкости зданий с использованием инновационных технологий. В настоящий момент более 4500 сооружений в мире защищены от землетрясений посредством сейсмической изоляции и другими современными пассивными системами регулирования сейсмической реакции, и их количество все время увеличивается.

Расширилась область применения сейсмоизоляции, которую стали использовать для таких сооружений, как исторические памятники, высотные здания, искусственные площадки для нескольких зданий, одно– и двухэтажных домов. Сейсмоизоляцию начинают применять как для защиты различного технологического оборудования, так и для защиты произведений искусства.

В целом, доля проектирования и строительства сейсмоизолированных зданий по отношению к традиционным антисейсмическим еще мала, но уже заметна тенденция роста их числа в сейсмически опасных районах.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

5. Айзенберг Я. М. Сооружения с выключаяющимися связями для сейсмических районов / Айзенберг Я.М. – М.: Стройиздат, 1976. – 232 с.
6. Айзенберг Я. М. Сейсмоизоляция высоких зданий / Айзенберг Я. М. // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2007. – № 4. – С. 41 – 43.
7. Арутюнян А. Р. Современные методы сейсмоизоляции зданий и сооружений / Арутюнян А. Р. // Инженерно–строительный журнал. – 2010. – № 3. – С. 56 – 60.
8. Воробьев В. Г. Задание расчетной сейсмостойкости зданий и сооружений на основе методов теории риска и теории надежности с учетом планируемого срока их

службы / Воробьев В. Г. // Будівельні конструкції. – Київ: НДІБК. – 2008. – Вип. 69. – С. 168 – 175.

9. Конструктивная сейсмобезопасность зданий и сооружений в сложных грунтовых условиях: препринт / под ред. Н.П. Абовского. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2009. – 186 с.

10. Сейсмостойкость зданий и сооружений: учебное пособие / сост. Л. С. Чигринская. – Ангарск: Изд-во АГТА, 2009. – 107 с.

11. Смирнов В. И. Инновационные системы сейсмозащиты зданий и сооружений в Российской Федерации и за рубежом / Смирнов В. И. // Официальный раздел. БСТ.12. – 2009. – С. 21 – 23.

12. Уздин А. М. Основы теории сейсмостойкости и сейсмостойкого строительства зданий и сооружений / Уздин А. М. – СПб.: Изд-во ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1993. – 176 с.

13. Сейсмостойкость: Центр исследований сейсмостойкости сооружений (ЦИСС) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://iskik.ru/ciss/lss.html>.

## РАЗДЕЛ 5. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО И ГРАЖДАНСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

*УДК 69.059.7:624:913*

**Коннов Н. С.**

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры*

### **ПРОБЛЕМЫ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА ЖИЛОГО ФОНДА В Г. МАКЕЕВКА**

В ряде городов и населенных пунктов Донецкой области наблюдается рост количества аварийных ситуаций в жилищном фонде. Это следствие неудовлетворительных темпов реализации городских программ реконструкции. В статье рассмотрен вопрос усиления фундаментов при реконструкции жилого фонда в г. Макеевка на примере объектов реализованных в 2012 году. Представлен анализ основных причин повреждений фундаментов и методов их усиления. Наряду с применением традиционных методов усиления, альтернативным для рассмотренных объектов автор считает закрепление их методом инъектирования.

**Капитальный ремонт, жилищный фонд, фундаменты, грунты, усиление**

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Значение ремонтно-восстановительных работ, в том числе капитального ремонта как метода простого воспроизводства жилищного фонда, в условиях превалирования частной собственности на жилье, существенно возрастает в ситуации сложившегося недостаточного объема финансовых средств на ремонт, что приводит к преждевременному нарастанию физического износа, моральному старению жилья, ухудшению условий проживания, и, как следствие, к сокращению сроков эксплуатации.

Капитального ремонта в Украине требует практически каждый третий жилой дом, а реконструкции подлежат 72 млн. м<sup>2</sup> так называемых «хрущевок», т.е. жилых зданий первых массовых серий, введенных в эксплуатацию в 1930-1970-е годы XX века. В ряде городов и населенных пунктов наблюдается рост количества аварийных ситуаций в жилищном фонде, что создает не только дискомфорт, но и зачастую приводит к непоправимым последствиям.

Анализ информации, собранной по регионам Украины, свидетельствует о неудовлетворительных темпах разворачивания работ по реализации программ реконструкции.

Как показал опыт приватизации жилищного фонда, большая часть его была передана в частную собственность в течение 1990-2000-х годов без проведения капитального ремонта или возмещения затрат на его проведение будущими собственниками. Поскольку большинство собственников недвижимости, полученной путем приватизации, являются категорией с низким уровнем доходов, то остро встал вопрос о нехватке финансовых ресурсов, необходимых для проведения ремонтно-технических работ и реконструкции зданий.

Существенным фактором отставания от предусмотренных Программой темпов реконструкции стало так же отсутствие необходимых правил и юридических обязательств новых владельцев.

#### **АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ**

Проблемы реконструкции отдельных зданий в своих научных исследованиях рассматривали В.И. Большаков, С.Н. Булгаков, В.Т. Вечеров, Д.Ф. Гончаренко, В.А. Давыдов, В.М. Кирнос [1], Н.В. Савицкий, В.И. Торкатюк [2], Р.Б. Тянь, Е.П. Уваров и другие ученые [3].

Разработкой решений по совершенствованию организационно-экономического обеспечения функционирования жилищного хозяйства, а также методов и моделей управления процессом содержания жилого фонда занимались Амоша А.И., Бабаев В.Н.,

Безлюдов А.И., Волинский Г.С., Голиков А.П., Данилишин Б.М., Нижний М.И., Васильева И.Н., Карлова О.А., Качала Т.М. и другие [4, 5].

### ЦЕЛЬ СТАТЬИ

Выявление проблем реализации работ по капитальному ремонту жилого фонда в г. Макеевка.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

*Определение потребности в капитальном ремонте.* В процессе разработки комплексной программы развития городского хозяйства решаются такие задачи как:

- анализ технического состояния жилищного фонда и определение потребности в капитальном ремонте и модернизации жилья;
- расчет величины капитальных вложений в капитальный ремонт жилищного фонда.

Для определения потребности жилищного фонда в ремонтах необходимо привести его техническую характеристику, составить типизацию фонда, рассчитать затраты на ремонт, сформировать ремонтные решения и выбрать наилучшие ремонтные решения. В результате определяется величина жилищного фонда города, нуждающегося в капитальном ремонте.

Анализ технического состояния жилищного фонда и его потребительских качеств, определение потребности в капитальном ремонте и реконструкции жилья требует обработки значительных объемов информации. В целях снижения трудоемкости проводится типизация жилищного фонда, позволяющая сократить размерность информационных массивов. В качестве типизирующих признаков принимаются факторы, существенно влияющие на сроки, виды и стоимость ремонта: капитальность, этажность, физический и моральный износ зданий.

Определение потребности в капитальном ремонте и модернизации жилищного фонда города на расчетный период производится путем отбора наилучших ремонтных программ по каждому типу зданий и расчета потребных ресурсов для их реализации.

Отбор наилучших ремонтных программ осуществляется по критерию минимизации затрат, требуемых на их проведение, и качественных результатов.

Основными факторами, влияющими на время достижения зданием предельно допустимого физического износа, являются:

- качество применяемых строительных материалов;
- качество строительно-монтажных работ при возведении здания;
- периодичность и качество проводимых ремонтных работ;
- качество технической эксплуатации;
- качество конструктивных решений при капитальном ремонте;
- период неиспользования здания;
- плотность заселения.

В настоящей статье автор рассматривает вопрос усиления фундаментов при реконструкции жилого фонда в г. Макеевка.

*Конструкция фундаментов жилых зданий, подлежащих капитальному ремонту.* Сталинские дома сооружались с 1935 года до 1960 года. По дате сооружения здания делят на до- и послевоенные.

При возведении таких зданий особенно широко использовали бутовый камень.

Бутовый фундамент встречается под капитальными стенами, он отличается высокими прочностными характеристиками и большими сроками эксплуатации.

Фундаменты из рваного бута ввиду значительных отклонений от правильной формы работают в более напряженном состоянии. В таких фундаментах большую роль играют концентрации напряжений на выступающих частях камня и расклинивающее влияние камней друг на друга. При выщелачивании раствора под воздействием агрессивных вод теряется первоначальная прочность фундаментов и с увеличением на него нагрузки возможны случаи выпирания камней из-под стены.

Бутовые фундаменты в большинстве случаев выполнялись прямоугольной формы и на 5–10 см шире толщины стен в каждую сторону. Реже выкладывались фундаменты трапециевидной формы, так как они обладают меньшей прочностью, а при вымывании раствора углы фундаментов почти не работают и возможны варианты их откалывания.

Фундаменты малоэтажных зданий выполнялись в основном из хорошо обожженного кирпича-железняк. Бутовые и кирпичные фундаменты возводились как ленточные, так и столбчатые. Многолетняя практика проектирования капитального ремонта старого жилищного фонда показывает, что столбчатые бутовые и кирпичные фундаменты в большинстве случаев перегружены и требуют к себе особого внимания, особенно при увеличении на них нагрузок.

*Основные причины деформаций и повреждений фундаментов.* Анализируя результаты обследований свыше сотни жилых зданий Донецкой области, проведенных различными организациями и институтами, можно конкретизировать причины деформаций зданий.

Конструктивные ошибки:

- наличие в основании грунтов, способных с течением времени значительно уплотняться и способствующих развитию сверхнормативных деформаций. А насыпные грунты значительно менее стойки к воздействию хозяйственных вод из неисправных систем канализации и теплотрасс;
- несоблюдение установленной глубины заложения фундаментов, исходя из условий надежной работы оснований, и исключая возможность промерзания пучинистых грунтов под его подошвой.

Неудовлетворительная эксплуатация:

- вымывание, унос и разжижение грунтов при неисправности подземных систем водоснабжения, канализации, теплотрасс;
- систематическое замачивание грунтов и фундаментов из-за неудовлетворительного состояния отмостки, тротуаров по периметру здания, а также неисправного состояния водосточных труб.

Производственные ошибки:

- нарушение структуры грунтов под фундаментами при заблаговременном производстве подземных работ, в результате чего грунты подвержены метеорологическим воздействиям, возникающим вследствие промерзания и оттаивания, набухания и размягчения. Особенно чувствительны к таким воздействиям глинистые грунты, существенно изменяющие свой объем. Набухание и размягчение приводят к развитию неравномерных осадок;
- выполнение ремонтно-строительных работ с нарушением технологии – пробивка проемов в фундаментах без предварительной установки разгружающих перемычек и прогонов, откопка котлованов около ранее возведенных фундаментов на глубину, превышающую проектную, и некачественная его обратная засыпка, затопливание котлована производственными или хозяйственными водами, засыпка пазух котлованов водопроницаемыми грунтами.

Ошибки проектирования:

- устройство проектируемых фундаментов, непосредственно примыкающих к существующим, с глубиной заложения ниже их подошвы;
- увеличение высоты подвальных помещений за счет выемки грунта, что приводит к значительному сокращению глубины заложения подошвы фундаментов, которая должна быть не менее 50 см от отметки подготовки под полы подвала;
- распределение нагрузок на фундаменты без учета их действительной несущей способности;
- устройство пристроек или увеличение этажности здания без достаточных данных о грунтах основания;

- изменение физико-механических свойств грунтов при подъеме или понижении уровня грунтовых вод и гидрогеологических условий при благоустройстве территории в данном районе, отводе подземных вод в систему коллекторов.

Вышеперечисленные дефекты в значительной степени отражаются как на техническом состоянии фундаментов, так и на здании в целом. Они вызывают ослабление оснований, разрушение фундаментов и преждевременный износ здания. Данные технического состояния ленточных каменных фундаментов, зависящие от физического износа, приведены в таблице 1.

**Таблица 1**

**Данные технического состояния ленточных каменных фундаментов, зависящие от физического износа**

Физический износ, %	Признаки износа
До 20	Мелкие трещины в цоколе и под окнами первого этажа
21–40	Отдельные глубокие трещины шириной до 1 см, следы сырости на цоколе и под окнами, выпучивание отдельных участков стен подвала
41–60	Выпучивание и заметное искривление линии цоколя, сквозные трещины в цоколе с развитием по всей высоте здания, выпучивание полов и стен подвала
61–80	Повсеместные прогрессирующие сквозные трещины по высоте здания, значительное выпучивание грунта и разрушение стен в подвале

*Выбор методов усиления бутовых ленточных фундаментов.* Выбор технологии усиления фундаментов зависит от категории состояния здания, а также категории риска предполагаемых работ по консервации либо реконструкции.

Основополагающими при выборе технологии усиления являются факторы, связанные с конструктивными особенностями здания, состоянием грунта в основании и оснащённостью организаций, осуществляющих работы.

Без должного расчетного обоснования нельзя отказываться от традиционных технологий. В комплексе с новыми, современными, они часто дают положительный эффект.

Во всех случаях предложенная технология должна обеспечить надежную длительную эксплуатацию здания, соответствующую данному при проектировании геотехническому прогнозу. Должны быть учтены вопросы экономики, экологии, безопасности ведения работ.

Первые рекомендации по усилению фундаментов и восстановлению содержатся в Урочных положениях Рошефора (1889). Причем технологии усиления были традиционны и просты по решению, как и сами фундаменты. До середины XX в. изменялись лишь отдельные приемы, использовались новые строительные материалы (металл, бетон, железобетон).

Все традиционные технологии усиления основания и фундаментов сводились, в основном, к увеличению площади опирания существующих фундаментов и, соответственно, уменьшению интенсивности давления на грунты основания. Параллельно разрабатывались технологические приемы, связанные с искусственным улучшением свойств грунтов в основании путем введения различных химических реагентов.

Основные методы усиления бутовых ленточных фундаментов:

- уширение опорной площади устройством приливов из бетона;


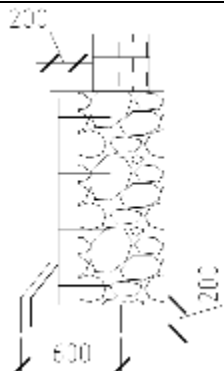
- уширение опорной площади и заглубление фундамента;
- уширение опорной площади и закрепление бутовой кладки устройством железобетонной обоймы;
- увеличение опорной площади устройством подушки из бетона или железобетона;
- одностороннее увеличение опорной площади;
- замена фундаментов под стены с использованием разгрузочных балок.

Проектные решения по усилению бутовых фундаментов жилых домов в г. Макеевка (табл. 2) были приняты на основании отчетов о техническом состоянии конструкций. При обследовании фундаментов из бутовых камней были выявлены повреждения и дефекты, определены прочность камня и раствора, влажность конструкций.

Большинство фундаментов в результате воздействия неблагоприятных гидрогеологических условий подверглись значительным повреждениям - образовались трещины, переломы одного участка фундамента относительно другого, слабые известковые и глиняные растворы были вымыты, отдельные камни выпали из плоскости кладки.

**Таблица 2**

**Варианты усиления бутовых фундаментов**

Наименование объекта	Степень разрушения фундамента, %	Метод усиления	Стоимость, тыс. грн Трудоемкость, чел-ч
Жилой дом №13 по ул. Чудской	10		<u>79,505</u> 977
Жилой дом №52 по ул. Коккинаки	30		<u>303,892</u> 4525

Закрепление бутовой кладки на рассматриваемых примерах было осуществлено устройством железобетонной обоймы. Эта технологии трудоемка, т.к. работы выполняются преимущественно вручную. Кроме того, в местах, где горизонт подземных вод достаточно высок, стоимость работ резко возрастает в связи с необходимостью откачки воды из траншей.

Весьма опасна для ветхих фундаментов заделка металлических штырей в тело фундамента. Известны случаи, когда в процессе заделки штырей был разрушен вскрытый на большом участке фундамент, что привело к разборке 2-этажного здания вместо планируемой надстройки.

В мировой и отечественной практике в последние 40 лет широко применяются новые технологии, в основу которых положена высокая степень механизации работ.

Альтернативным методом усиления фундаментов представленных объектов автор считает закрепление их методом инъектирования.

При относительно небольших деформациях фундаментов, вызванных местным вымыванием грунта из-под фундаментов, прибегают к технологии закачивания раствора в образовавшиеся пустоты. Для этого сквозь тело фундамента с поверхности планировки или из подвального помещения бурят инъекционные скважины. В пробуренные скважины под высоким давлением (от 0,3 до 1,2 МПа) нагнетают специальные растворы, которые заполняют пустоты, уплотняют и пропитывают грунт.

Слой специального раствора не только усиливает основание фундамента, но и служит прекрасным гидроизоляционным слоем, прекращая доступ грунтовой влаги к фундаменту. Состав инъектирующих растворов устанавливают в зависимости от инженерно-геологических показателей грунтов, их фильтрационных характеристик и состояния фундаментов.

К достоинствам этого способа относятся: высокая степень механизации всех операций; возможность упрочнения грунтов до заданных проектом параметров в их естественном залегании; сравнительно малая трудоемкость, резкое сокращение ручного неквалифицированного труда по откопке траншей, а также сравнительно невысокая стоимость исходных материалов.

### **Выводы**

Важными условиями в рациональном использовании капитальных вложений, выделяемых на капитальный ремонт основных непроизводственных фондов, являются:

- обоснованный отбор первоочередных домов, нуждающихся в данном ремонте;
- развитие методов, а также разработка оборудования для восстановления эксплуатационных свойств зданий и сооружений;
- метрологическое обеспечение строительной отрасли, а также техническое диагностирование для оценки эксплуатационной пригодности и разработки средств защиты строительных конструкций;
- разработка мероприятий по защите строительных конструкций, зданий и сооружений от неблагоприятного влияния вибрации и агрессивных сред, имеющих природное и техногенное происхождение;
- необходимость разработки межгосударственных нормативных документов, посвященных вопросам надежности (безотказности, долговечности, ремонтнопригодности, сохранности) при эксплуатации жилищного фонда.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Кирнос В.М. Формирование совокупности организационно-технологических факторов и параметров, определяющих целесообразность реализации проектов комплексной реконструкции жилой застройки / Кирнос В.М., Радкевич А.В., Кравчуновская Т.С., Бородай Г.В. // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2007. – № 5. – С. 15-20.
2. Организационно-технологические, архитектурно-конструктивные и финансово-экономические предпосылки формирования продукции капитального строительства: монография / В.И. Торкатюк, А.И. Колосов, В.Н. Бабаев и др.; под общ. ред. В.И. Торкатюка, А.И. Колосова; Харьк. нац. акад. гор. хоз-ва. – Х. : ХНАГХ, 2012. – 368 с.
3. Жербін М.М. Нова концепція реконструкції та модернізації існуючих житлових будинків / Жербін М.М., Большаков В.І. // Будівництво України. – 1998. – № 2. – С. 19-23.
4. Николаева Л. Проблемы реконструкции жилищного фонда требуют своего решения / Николаева Л. // Будмастер. - 2012. - №11. - С. 33
5. Шутенко Л.Н. Технологические основы формирования и оптимизации жизненного цикла городского жилого фонда (теория, практика, перспективы). – Харьков: Майдан, 2002. – 1054 с.

**УДК 69.059.7:624.012.35**

**Шаленный В.Т.**

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства,*

**Кислица Л.В.**

*Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры»*

## **ОЦЕНКА СРАВНИТЕЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗМОЖНЫХ СПОСОБОВ МЕХАНИЗАЦИИ МОНТАЖА СТАЛЬНЫХ СИЛОСОВ ДИАМЕТРОМ 22.15 М МЕТОДОМ ПОДРАЩИВАНИЯ**

Произведены вычислительные эксперименты по проектированию возможных способов возведения металлических силосов с применением распространенных средств механизации процесса монтажа методом подращивания. Определены экономические (стоимость) и технологические (трудоемкость, продолжительность) показатели рассмотренных вариантов для обоснования целесообразного.

**Возведение зернохранилищ, подращивание, оборудование, показатели процесса**

### **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время для Украины остается актуальным строительство дополнительных мощностей по приемке, хранению и переработке зерновых и масличных культур. Повсеместно для этих целей начали применять стальные силосные корпуса, обеспечивающие комплектную поставку конструкций и оборудования, относительно сокращенные сроки возведения и качественное хранение при минимальных расходах на это.

### **АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ**

Актуальность возведения отдельно стоящих силосных корпусов выполненных в металле, классификация и анализ основных способов их устройства с мотивацией целесообразности выполнения монтажных работ подращиванием представлено в статье [4]. В наиболее распространенных способах механизации процесса монтажа методом подращивания используются стальные шевры, на которых и размещаются грузоподъемные механизмы (тали или лебедки с электроприводом или ручные). Ручные до сих пор имеют большее распространение в Украине. В связи с чем, пользуясь соответствующими методиками [2, 3], нами были проведены теоретические и экспериментальные исследования, в результате которых нашла подтверждение гипотеза о неравномерном возрастании энергетических затрат рабочих-монтажников по мере осуществления процесса монтажа [4, 5]. На заключительных этапах подращивания нижних ярусов, работа монтажников становится достаточно тяжелой и опасной [4]. Что предопределило необходимость сравнительной оценки возможности применения и других средств механизации процесса, представленных на украинском рынке [12-14]. Целесообразно совершенствование и самой технологической схемы размещения оборудования для монтажа. В этом направлении, нами было предложено отказаться от закрепления шевров к предварительно устраиваемым якорям, а использовать для этого специально монтируемый на фундаменте силоса стальной элемент в виде Г-образной плоской или пространственной фермы [6].

Принципиально, существует и третий способ механизации процесса подъема — гидравлическими домкратами с необходимым комплектующим оборудованием [14]. Этот способ также может получить большее распространение после соответствующего обоснования, которое может быть получено в результате вариантного проектирования с определением технико-экономических показателей технологического процесса. Общепринятыми из них на сегодня являются себестоимость, трудоемкость и продолжительность монтажных работ [7]. Сравнивая эти показатели для различных

возможных технологических схем, можно найти варианты с наименьшими их значениями, которые и следует принимать к исполнению как более эффективные и целесообразные.

### **ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ**

**Целью** настоящей работы является повышение эффективности технологического процесса возведения стального силосного корпуса для хранения зерна. Для чего решались нижеследующие **задачи**:

- сбор и обобщение информации о возможных способах и средствах механизации монтажных работ по возведению силосного корпуса методом подрачивания;
- формирование возможных вариантов технологии возведения таких корпусов на примере распространенного стального силоса диаметром 21,25м;
- вариантное организационно-технологическое проектирование производства монтажных работ с определением прогнозируемых технико-экономических показателей этих процессов;
- сравнение конечных технико-экономических показателей запроектированных технологических решений для выбора более целесообразных.

### **МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ**

В качестве базового, был принят ранее изученный объект – «Филия Кременчугская» в городе Кременчуге, строительство которого реализовано в 2010 году по заказу крупнейшего зернотрейдера Украины ООО «НИБУЛОН», фирма-подрядчик по монтажу силоса - ООО «ЕвроСтройСервис», количество устраиваемых ярусов – 15, диаметр – 22,15 м. Фактически при возведении этого силоса использовались ручные цепные тали с храповым механизмом грузоподъемностью 5т при общей численности бригады монтажников в 35 чел. (3 инженерно–технических работника включительно). Для сравнения, было изучено также несколько самых распространенных на современном рынке, других видов грузоподъемного оборудования, представленного в табл. 1.

Учитывая результаты анализа представленных разновидностей грузоподъемных механизмов, далее было выполнено вариантное проектирование технологий устройства зернохранилищ по нижеследующим, принципиально возможным технологическим схемам (табл.2).

Предварительно составив калькуляцию трудовых затрат и заработной платы рабочих, где указаны численность и профессиональный состав бригады, подобран комплект машин и механизмов для производства работ, определены трудоемкости выполняемых операций, рассчитана зарплата монтажников по каждому виду работ, на основании чего составлены графики производства работ и потребности трудовых ресурсов. Исходя из чего, были определены продолжительность использования машин, механизмов и других ресурсов для каждого конкретно рассмотренного варианта. Это позволило перейти к расчету себестоимости механизированного процесса производства работ с учетом методики определения стоимости эксплуатации собственных строительных машин и механизмов строительных организаций при составлении договорной цены и проведении взаиморасчетов за объемы выполненных работ [10].

Себестоимость механизированного процесса включала в себя стоимость материалов для производства работ; стоимость готовых конструкций зернохранилищ; себестоимость эксплуатации машин и механизмов (тали, лебедки, домкраты). Как уже упоминалось, для расчета стоимости 1 машино-часа эксплуатации строительных машин и механизмов применялась методика [10], где учитываются прямые и непрямые затраты, а расчеты осуществлялись на основании:

- сборника ресурсных элементных сметных норм эксплуатации строительных машин и механизмов РСНЭМ ДБН Д.2.2-7-2000 (с изменениями и дополнениями) [8];
- сборника текущих цен эксплуатации строительных машин и механизмов «Усредненные показатели стоимости эксплуатации строительных машин и механизмов», предоставляемого Госстроем [11];
- «Правил определения стоимости строительства» ДБН Д.1.1-1-2000 (с изменениями и дополнениями) [9].

Таблица 1

Рассмотренные возможные варианты комплектации монтажных работ грузоподъемным оборудованием и обслуживающими его рабочими

№ п/п	Наименование механизма	Фирма-производитель	Страна-производитель	Марка	Грузо-Подъемность, т	Необходимое количество механизмов, шт	Обслуживающее количество монтажников, чел	Стоимость, грн/шт	Стоимость за комплект, грн
1	Таль ручная цепная	JET	Китай	SMH-5.0T-3.0M	5	29	29	2279	66091
		JET	Китай	SMH-5.0T-6.0M	5	29	29	2754	79866
		МАГИМЭКС	Россия	ТРШСМ 5,0-3	5	29	29	2995	86855
2	Таль ручная рычажная	GROZPODEM	Россия	Stahl ST (5т,3м)	5	29	29	2106	61074
		ООО «Дельта-Привод»	Россия	HSH-A(3,0тх6м)	3	29	29	1566	45414
		УКРМАШОБЛАДНАННЯ	Украина	HSH-Z310	5	15	15	5806	87090
		УКРМАШОБЛАДНАННЯ	Украина	HSH-6A	6	15	15	6966	104490
		GROZPODEM	Россия	TP (6т, 3м)	6	15	15	27540	413100
3	Таль электрическая	GUTMAN	Украина	HH-B50	5	29	3	46399	1345571
		GROZPODEM Люкс-Строй	Россия	ТЭ-500	5	29	3	29517	855993
		GROZPODEM Люкс-Строй	Россия	ТЭ-1000	10	15	3	50788	761820
		Представитель «Доиметалл-Холдинг»	Болгария	T39 10т	10	15	3	57544	863160
		GUTMAN	Украина	HH-B10T	10	15	3	60000	900000
4	Лебедки канатные электрические	МАГИМЭКС	Россия	ЛМ-5 б/к	5	29	10	75506	2189674
		МАГИМЭКС	Россия	ТЛ-7Б-1	5	29	8	75562	2191298
		GROUT	Украина	KEW 400	3	29	29	48620	1409980
5	Лебедки канатные ручные	УКРМАШОБЛАДНАННЯ	Украина	MT TM-3,2	3	29	29	5051	146479
6	Гидравлическая домкратная установка	GAUK	Германия	GAUK HRE-L	80	1	3	648092	
		ЕНЕРПРЕД	Россия	Д10Р 125П	10	15	3	2332	683072
		ЕНЕРПРЕД	Россия	ДУ 10П200	10	15	3	2708	688712

Таблица 2

**Рассмотренные технологические схемы производства монтажных работ при  
возведении металлического силосного корпуса методом подрачивания**

<b>Схема 1 — шевры для подъема закрепляются Г-образными фермами на фундаменте силосного корпуса</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>1-плоский фундамент;</li> <li>2-наклонный шевр;</li> <li>3-подъемный полиспаст;</li> <li>4 -лебедка;</li> <li>5- крюк;</li> <li>6-металлическая петля;</li> <li>7-поверхность силоса;</li> <li>8-горизонтальный анкер;</li> <li>9-прокатный швелер;</li> <li>10-«Г-образная» ферма;</li> <li>11-подкос;</li> <li>12-блок;</li> </ul>
<b>Схема 2 — шевры для подъема удерживаются специальными якорными устройствами за пределами фундамента</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>1-плоский фундамент;</li> <li>2-блок;</li> <li>3-горизонтальная распорка;</li> <li>4-наклонный шевр;</li> <li>5 -лебедка;</li> <li>6-подъемный полиспаст;</li> <li>7- крюк;</li> <li>8-поверхность силоса;</li> <li>9-железобетонный якорь;</li> <li>10-подкос;</li> <li>11-горизонтальная распорка.</li> </ul>
<b>Схема 3 — подъем гидравлическими домкратами с системой трубопроводов от общей маслостанции, с использованием «Г-образной» фермы, на которую устраивается рабочий настил для монтажников</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>1-свайный фундамент Н&gt;2м;</li> <li>2-ростверк;</li> <li>3-подъемный домкрат;</li> <li>4-металлическая петля;</li> <li>5-поверхность силоса;</li> <li>6-горизонтальный анкер;</li> <li>7-прокатный швелер;</li> <li>8-«Г-образная» ферма;</li> <li>9-рабочий настил;</li> <li>10-ограждение.</li> </ul>

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ**

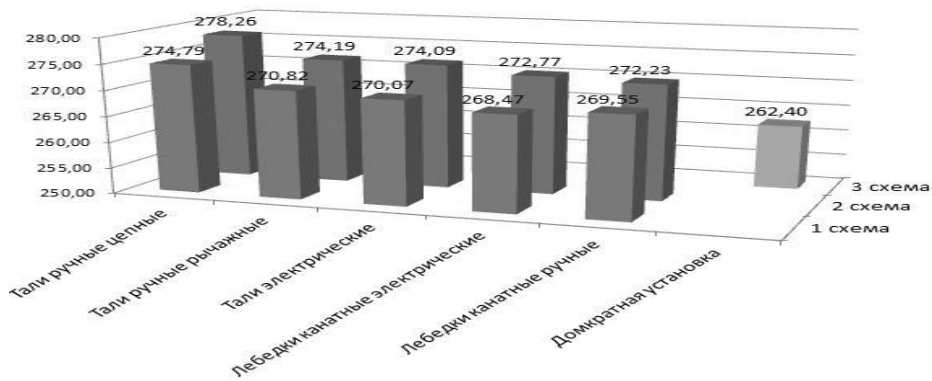
Результаты проведенных таким образом расчетов технико-экономических показателей рассмотренных вариантов технологии возведения металлического зернохранилища диаметром 22,15 м в ценах по состоянию на IV квартал 2012 года представлены в табл. 3.

Таблица 3

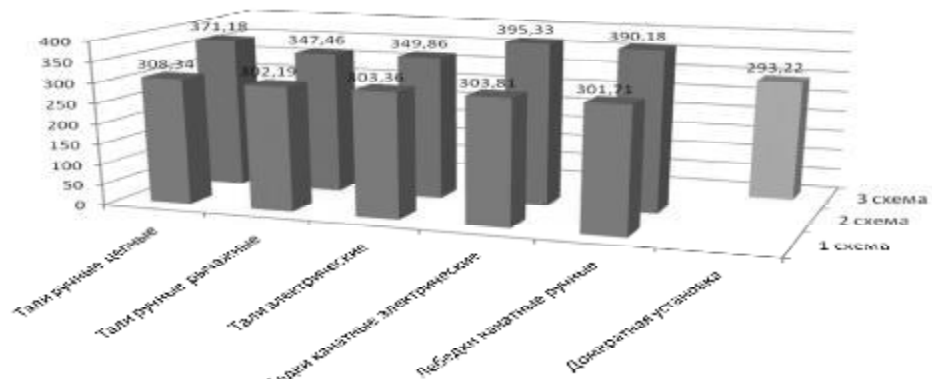
**Результирующие технико-экономические показатели рассмотренных вариантов технологии монтажа силосного корпуса диаметром 22,15 м (полезный объем 6225 куб. м, масса стальных конструкций 6062 т)**

Основное грузоподъемное оборудование	Наименование показателей, ед. измерения, технологические схемы							
	Продолжительность монтажа	трудоемкость ручных и механизированных процессов		Стоимость материалов и оборудования	Заработная плата рабочих-монтажников	Стоимость эксплуатации машин и механизмов	полная себестоимость монтажных работ	удельная себестоимость монтажных работ
		суток	чел.-дн.					
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Схема 1 — шевры для подъема закрепляются Г-образными фермами на фундаменте</b>								
1.1. тали ручные цепные	11	308,34	47,14	1528986	152827	28735	1710548	274,79
1.2. тали ручные рычажные	11	302,19	46,17	1528986	124567	32276	1685830	270,82
1.3. тали электрические	10	303,36	45,57	1528986	121907	30286	1681180	270,07
1.4. лебедки электрические	10	303,81	45,51	1528986	111445	30816	1671248	268,47
1.5. лебедки ручные	10	301,71	45,79	1528986	120191	28791	1677968	269,55
<b>Схема 2 — шевры для подъема удерживаются специальными якорными устройствами</b>								
2.1. тали ручные цепные	15	371,18	73,15	1531585	153107	47476	1732168	278,26
2.2. тали ручные рычажные	15	347,01	73,59	1531585	128913	46319	1706818	274,19
2.3. тали электрические	11	349,86	72,71	1531585	127384	47236	1706204	274,09
2.4. лебедки электрические	13	395,33	71,72	1531585	119970	46445	1698001	272,77
2.5. лебедки ручные	12	390,18	71,68	1531585	119272	43772	1694630	272,23
<b>Схема 3 — подъем гидравлическими домкратами от центральной маслостанции</b>								
3.1. гидродомкраты	9	293,22	44,31	1482098	106655	44694	1633448	262,40

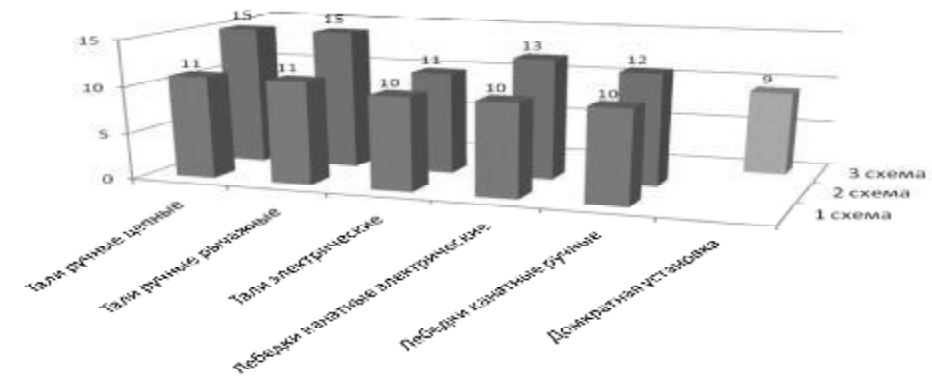
Наглядно, результаты сравнения рассмотренных вариантов технологии по показателям трудоемкости, продолжительности и стоимости возведения в зависимости от используемого способа и вида механизации процесса показаны на рис. 1.



а)



б)



в)

**Рис.1. Сравнительная удельная себестоимость (а), трудоемкость (б) и продолжительность (в) монтажа силоса диаметром 22,15м по рассмотренным возможным вариантам технологии и механизации работ**

Как видно из представленной информации, все изученные показатели технологии имеют определенные колебания по рассмотренным организационно-технологическим решениям: себестоимость изменяется от 262,4 до 278,26 грн. /куб. м полезного объема силоса (максимально размах колебаний достигает 5,7%); трудоемкость процесса колеблется от 293,22 до 395,33 чел.-дн. (увеличивается на 25,83% от минимальной трудоемкости); соответственно, изменяется и продолжительность монтажа — с 9 до 15 дней, т.е. на 40%. Наиболее экономичным по себестоимости процесса, как и предполагалось нами ранее, выявилось использование талей, применяемых при возведении силосов по запатентованной авторами первой схеме производства монтажных работ. Использование большинства других рассмотренных вариантов технологии оказалось несколько дороже. Применение для подъема домкратной системы оказалось всего лишь на 2,26% дешевле самых экономичных систем с использованием лебедок канатных с электроприводом. Использование якорных систем закрепления на 1,2% дороже первого способа, а вот самым экономичным оказался вариант с применением гидравлического оборудования и консольного раскрепления шевров на фундаменте.

Совсем другая разница в показателях трудоемкости и почти напрямую связанной с ней продолжительности работ. Наименьшая трудоемкость и продолжительность будет

при монтажных работах, выполняемых при помощи системы подъема на основе гидравлических домкратов (трудоемкость почти на 30 % меньше всех остальных вариантов, а продолжительность сокращается на 40 %).

Существенно экономичнее по трудозатратам в большинстве случаев оказался предложенный нами первый способ закрепления шевров на фундаменте строящегося силоса (кроме варианта с гидродомкратной установкой) - трудоемкость монтажа по предложенному способу на 12, а иногда и на 23 % ниже, чем при распространенном предварительном устройстве якорных систем.

### **Выводы**

Проведенное вариантное проектирование технологии монтажа показало существенные резервы снижения трудоемкости, продолжительности и стоимости строительно-монтажных работ по возведению стальных силосных корпусов диаметром 22,15 м, производимых прогрессивным методом подрачивания.

В дальнейшем планируется проведение аналогичных вычислительных экспериментов для других размеров, назначения и расположения силосных корпусов. Что позволит установить определенные закономерности изменения конечных технико-экономических показателей в зависимости от упомянутых характеристик объекта и способов механизации монтажных работ. А следовательно, рекомендовать для внедрения более эффективные организационно-технологические решения, выбор которых будет осуществляться на основе специально разработанной в дальнейшем методики.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Кислиця Л. В. Будівництво зернопереробних підприємств. Існуючі методи, доцільність і шляхи вдосконалювання методу підрощування сталевих силосів //Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2009. – № 6-7. – С.25-29.
2. Руководство по проектированию высокопроизводительных трудовых процессов строительного производства. Вып.1 Основные положения /Всесоюз. научн. – исслед. и проектный институт труда в строительстве Госстроя СССР. – М.: Строиздат, 1978. – 32с.
3. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень: ДСН 3.3.6.042-99. – [Чинний від 1999-12-01]. – К. : МОЗ України, 1999. – №42. – 10с.
4. Шаленний В.Т., Ковальов А.А., Кислиця Л.В., Біцоева О.А., Козак О.А. Теоретико-експериментальні дослідження напруги праці будівельників силосних корпусів із оцинкованої сталі. //Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. научн. трудов. – Днепропетровск: ПГАСА. – 2011. – Вып.62. – С. 376 – 380.
5. Поэтапное возрастание энергозатрат монтажников при подрачивании стальных силосов разных размеров /[Шаленний В. Т., Несевря П.И., Дикарев К.Б., Кислиця Л.В.] //Строительство и техногенная безопасность. Симферополь: НАПКС. – 2012. – Вып.42. – С.81 – 88.
6. Пат. №56442 України, МПК E04F13/08. Пристрій для монтажу конструкцій методом підрощування /Шаленний В.Т., Кислиця Л.В., Дікарев К.Б. ; заявитель и патентообладатель ДВНЗ Придніпров. держ. академ. буд-ва та арх-ри. – № 2010 09389; заявл. 26.07.2011; опубл. 10.01.2011, Бюл. №1.
7. Технологія монтажу будівельних конструкцій: навчальний посібник / [В.К. Черненко, О.Ф. Осипов, Г.М. Тонкачєєв та ін.]; за ред. В.К. Черненко. – [2-е вид.]. – К. : Горобець Г.С., 2011. – 327с.
8. Ресурсні кошторисні норми експлуатації будівельних машин та механізмів: ДБН Д.2.7 – 2000. – [Чинний від 2001-01-01]. – К.: Держбуд України, 2001. – 343с.
9. Правила определения стоимости строительства: ДБН Д.1.1-1-2000. – [Чинний від 2000-10-01]. – К. : Госстроя Украины, 2000. – 162с.
10. Методика определения стоимости эксплуатации собственных строительных машин и механизмов строительных организаций при составлении договорной цены

- и проведении взаиморасчетов за объемы выполненных работ //Ценообразование в строительстве. – 2006. – №1. – 296-320с.
- 11..Ценообразование в строительстве: сб. офиц. док. и разъясн. /глав. ред. И.С. Вовкодав. – К.: Минстрой Украины, 2011. -№6.– 176с.
- 12..Берлин Н. П. Погрузочно-разгрузочные, транспортирующие и вспомогательные машины и устройства [Электронный ресурс]: учебное пособие для студентов специальности «Организация движения и управления на транспорте» /Н. П. Берлин. – Гомель: Белорус. госуд. ун-т транспорта, 2005. –Режим доступа: [www.pdfactory.com](http://www.pdfactory.com)
13. [www.enerprom.ru](http://www.enerprom.ru)
14. [www.enerpred.ru](http://www.enerpred.ru)

**УДК 626.845: 631.95**

**Литовченко У. А., аспирант**

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОРОШЕНИЯ.**

Рассмотрены теоретические основы разработки комплексной оценки экологической безопасности орошения, которая позволит оценить изменения природных факторов, в частности почвенных, связанных с орошением; составлена структурная схема комплексной оценки экологической безопасности орошения и определены основные параметрические составные, характеризующие уровень влияния орошения на состояние орошаемых земель.

**орошение, экологическая безопасность, комплексная оценка, орошаемые земли, уровень влияния**

### **ВВЕДЕНИЕ**

Современная оценка экологической безопасности орошения должна учитывать требования экологии и природопользования. Качество и надежность работы каждого элемента оросительной сети и системы в целом оказывают определяющее влияние на эксплуатационные режимы орошения, эффективность использования природных ресурсов и урожайность орошаемых земель.

Уровень плодородия орошаемых почв определяется множеством показателей, ведущая роль среди которых принадлежит содержанию гумуса, элементов питания, водно-физическим свойствам почвы (агрегатному составу, водопрочности почвенных агрегатов, аэрированности, влажности почвы и т.д.) [1].

Орошение является важнейшим фактором повышения продуктивности сельскохозяйственных культур, создающим оптимальные условия роста и развития растений. При различных видах орошения по-разному складываются микроклиматические изменения на поливном участке, водно-физические, химические и микробиологические процессы в почве.

### **АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ**

Орошение оказывает глубокое и длительное, а часто необратимое воздействие на почву, изменяющее ее коренные свойства [2]. Применение различных видов орошения приводит к изменению влагооборота, характера распределения температуры и влажности в приземном слое воздуха и верхних слоях почвы, создается специфический микроклимат. При этом неправильные мероприятия по изменению водного и солевого режимов почвы часто вызывают заболачивание и вторичное засоление почвы.

В настоящее время необходимо освоение экологически безопасных подходов к орошению почв на основе наиболее полной оптимизации технологий орошения сельскохозяйственных угодий, для сохранения и восстановления естественного плодородия почв и рационального использования водных ресурсов [3, 4, 5, 6].

Воздействие орошения может оцениваться с помощью показателей экологической безопасности. Отказы в плане экологической безопасности могут проявляться в виде негативных воздействий на агроландшафты: превышение допустимой нормы эрозии почв, превышении допустимых значений выноса гумуса, подъеме уровня грунтовых вод, превышении предельно допустимых значений концентраций солей в почве, превышении допустимой концентрации загрязняющих веществ в водном объекте – водоприемнике [7].

### **ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Орошаемое земледелие направлено на повышение плодородия почв и урожайности культур, увеличение эффективности сельскохозяйственного производства, рациональное использование природных ресурсов [1].

Основной целью исследований является разработка методики комплексной оценки экологической безопасности орошения, которая позволит предвидеть изменения природных факторов, связанных с орошением, и оценить уровень экологической устойчивости орошаемых территорий.

Объектом исследований являются орошаемые территории.

Предмет исследований – экологическая безопасность орошаемых территорий.

Основные задачи исследований:

- составление структурной схемы комплексной оценки экологической безопасности орошения;
- определение основных параметрических составных, характеризующих уровень влияния орошения на состояние орошаемых земель.

### **МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ**

Основными методами исследований, позволяющими достичь решения поставленных задач, являются системный подход, системный анализ и математическое моделирование.

Экологическое состояние орошаемых территорий формируется в результате взаимодействия природных, ирригационно-хозяйственных условий и факторов. Для оценки экологической ситуации орошаемых земель могут выступать следующие показатели: урожайность поливных с/х культур, степень засоленности орошаемых земель, степень солонцеватости почвы, глубина залегания грунтовых вод и ее изменение, общая минерализация, химический состав, щелочность грунтовых вод и верховодки, а признаками могут служить продолжительность межфазного периода посев-всходы, средняя температура воздуха и сумма осадков за этот период, число дней с заморозками на почве и т.п. [8].

Комплексная система оценки экологической безопасности орошения составляется на основе накопленного опыта и анализа последних работ по вопросам оценки экологической устойчивости орошаемых территорий. Она состоит из следующих блоков:

1. Комплексная оценка технического состояния оросительной сети, характеризующая эффективность и эксплуатационную надежность (работоспособность).
2. Оценка экологической безопасности по подъему уровня грунтовых вод (УГВ).
3. Оценка экологической безопасности по засолению почв.
4. Оценка экологической безопасности по выносу гумуса.
5. Оценка экологической безопасности по водной эрозии.
6. Экологическая оценка преобразования орошаемых земель.

Схема комплексной системы оценки экологической безопасности орошения представлена на рисунке 1.



**Рис. 1. Комплексная система оценки экологической безопасности орошения:**  
 где  $P_s = \eta / \eta_{\text{тр}}$ ,  $\eta$  - фактический КПД оросительной сети;  $\eta_{\text{тр}}$  - требуемый КПД оросительной сети;  $\sigma$  - коэффициент допустимого снижения КПД оросительной сети;  $\Delta h_{\text{г.в.дон.}}$  - допустимое повышение уровня грунтовых вод;  $\Delta h_{\text{г.в.}}$  - общее среднее повышение уровня грунтовых вод на орошаемой площади за время  $t$ ;  $C_{\text{дон.}}$  - допустимая концентрация солей в почвогрунте;  $C$  - концентрация солей в точке на глубине  $h$  в момент  $t$ ;  $\delta B_{\text{гум.дон.}}$  - допустимое уменьшение запасов гумуса;  $\delta B_{\text{гум.}}$  - изменение вымывания гумуса из почвы;  $q_{\text{дон.}}$  - допустимая норма эрозии почв;  $q$  - величина водной эрозии почв за счет склонового стока, размыва борозды или полосы и разрушающего действия капель дождя на почву;  $A_{\text{ест.}}$  - комплексная оценка (показатель) видового состава естественной территории;  $A_{\text{антр.}}$  - показатель видового состава антропогенной территории (при орошении);  $\alpha$  - допустимая степень преобразования орошаемых земель.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Оросительная сеть состоит из многих элементов, соединенных между собой как последовательно, так и параллельно. Она относится к сложным системам, которые описывает полный факторный эксперимент. Низкий уровень экологической надежности хотя бы одного составного элемента оказывает определенное влияние на экологическую надежность всей сети. При оценке экологической безопасности очень важно выявить степень влияния, которое оказывает надежность отдельных элементов на безопасность всей сети в целом. Расчет экологической безопасности основных элементов участка оросительной сети производился на основе натурных данных, собранных на действующих системах.

Количественные методы комплексной оценки технического состояния оросительной сети основаны на возможности построения математической модели экологической безопасности в виде функции:

$$P = \phi(X, Y, U), \quad (1)$$

где  $P$  ( $p_1, p_2, \dots, p_n$ ) - показатели состояния работы в плане экологической безопасности;

$X$  ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ) - неуправляемые факторы;

$Y$  ( $y_1, y_2, \dots, y_n$ ) - фактически управляемые факторы;

$U$  ( $u_1, u_2, \dots, u_n$ ) - потенциально управляемые факторы.

Полив дождеванием получил наиболее широкое распространение как средство наиболее эффективное в отношении механизации в условиях сложного рельефа. Если в начальный период времени при орошении дождеванием почвы способны поглощать воды больше подаваемого слоя, то в дальнейшем, за счет влияния диаметра капли дождя и ее динамического воздействия на структуру верхнего слоя почвы, эта способность

значительно сокращается. Диаметр каплей искусственного дождя является основным фактором, влияющим на скорость впитывания и величину стока.

Положительный эффект от полива дождеванием достигается при условии, что интенсивность дождя, образуемого дождевальной установкой, не превышает (близка по значению) скорости впитывания (скорости инфильтрации) воды в почву, а крупность каплей оптимальна. При этом условии интенсивность дождя является допустимой, а поливная норма или слой осадков достаточными. Эмпирическая зависимость величины достаточного слоя осадков  $h$  (в мм), впитывающегося в почву до появления луж, от интенсивности искусственного дождя  $i$  (в мм/мин) и диаметра каплей  $d$  (в мм) имеет вид:

$$h = \frac{P}{\sqrt{i}} \cdot e^{-0.5d} \quad (2)$$

где  $P$  – показатель безнапорной водопроницаемости данного типа почвы при дождевании;

$e$  – основание натурального логарифма.

Для проведения расчетов по определению величины эрозии возможно использование следующей зависимости:

$$E = RKPL_s, \quad (3)$$

где  $E$  - величина эрозии, т/га;

$R$  - смытый слой, т/га;

$K$  - коэффициент размываемости почвы;

$P$  - коэффициент противоэрозионных мероприятий;

$L_s$  - коэффициент наклона и крутизны.

В комплексе с природными факторами плодородие почвы снижается за счет негативного антропогенного воздействия. В условиях развития эрозионных процессов, применения нерациональных структур севооборотов происходит интенсивное снижение запасов гумуса в почвах.

Уравнение, определяющее изменение запасов гумуса в пределах корнеобитаемого слоя, имеет вид:

$$\delta B_{gm} = \alpha \beta_1 \delta B_u + \beta_2 \delta B_f - \delta B_{gm} \quad (4)$$

где  $\delta B_u$  - прирост растительной биомассы (надземной и подземной части) за счет регулирования гидротермического режима почв по сравнению с условиями до орошения (оценивается на основе обобщения опыта земледелия на орошаемых территориях);

$\alpha$  - коэффициент возврата растительных остатков в почву, зависящий от типа севооборота;

$\beta_1 = 0,1$  и  $\beta_2 = 0,15$  - коэффициенты гумификации растительных остатков и навоза соответственно;

$\delta B_f$  - дозы ежегодно вносимых органических удобрений;

$\delta B_{gm} = g C_{gm}$  - изменение вымывания гумуса из почвы;

$g$  - величина водообмена между почвенными и грунтовыми водами;

$C_{gm}$  - растворимость гумуса.

Допустимая (критическая) глубина залегания уровня грунтовых вод является одним из основных параметров при оценке воздействия орошения на мелиоративное состояние земель. От нее зависит эффективность мелиоративного режима и соответствующего ему ирригационного типа почвообразования, при котором изменяются физико-химические, химические и водно-физические свойства почв.

Общее среднее повышение уровня грунтовых вод на орошаемой площади за расчетный период времени  $t$  определяется по формуле А.Н. Костякова:

$$\Delta h_{2.6.} = \frac{6q_g(1-\eta)t}{A-r} \quad (5)$$

где  $q_g$  - общее среднее значение гидромодуля брутто оросительной сети за период  $t$ ;

$\eta$  - коэффициент полезного действия оросительной сети за расчетный период;

$A - r$  - недостаток насыщения водой слоя  $\Delta h_{г.в.}$  до полной влагоемкости его по объему в долях, без учета влияния испарения и оттока грунтовых вод;

$A$  - влагоемкость почвы (в долях);  $r$  - фактическая влажность грунта выше уровня грунтовых вод в слое  $\Delta h_{г.в.}$  (в долях).

Изменение содержания солей в почве при орошении оценивается, с помощью решения уравнения конвективно-диффузионного переноса легкорастворимых солей в однородной несорбирующей пористой среде, предложенное С.Ф. Аверьяновым:

$$C(h, t) = C_L + 0,5(C_0 - C_L) \cdot [erfcZ_2 - \exp(Z_2^2 - Z_1^2)(erfcZ_1 - 4aierfcZ_1)], \quad (6)$$

где  $C(h, t)$  - концентрация солей в точке на глубине  $h$  в момент  $t$ ;

$C_0$  - исходное содержание солей в расчетном слое  $h$  (среднее);

$C_L$  - содержание солей в воде, подаваемой на орошение.

Сложившиеся на данном этапе развития мелиоративной науки подходы к реализации экологических проблем не полностью отражают последние достижения орошаемого земледелия. Следствием такого положения стала проблема проведения комплексной экологической оценки орошаемых земель.

Смена естественного ландшафта орошаемых земель на антропогенный происходит при низких показателях экологической безопасности орошения, следствием которых является: подъем уровня грунтовых вод на орошаемых землях; засоление почв вследствие подъема уровня грунтовых вод; водная эрозия почв при различных способах полива; вынос гумуса за пределы корнеобитаемого слоя и т.п.

Естественными составляющими орошаемых земель являются такие природные компоненты как почвы, рельеф, вода, воздух, животный и растительный миры.

В процессе эксплуатации естественный ландшафт орошаемых земель может постепенно деградировать в связи с явлениями дегумификации, ухудшением водно-физических свойств почв, их засолением, заболачиванием и загрязнением, водной эрозией, подтоплением и т.п. При этом происходит изменения показателей видового состава.

Между естественным и антропогенным состоянием орошаемая территория в своей динамике проходит несколько стадий: экологической нормы (ЭН), экологического риска (ЭР), экологического кризиса (ЭК) и экологического бедствия (ЭБ).

Рассмотренная методика комплексной оценки экологической безопасности орошения дает инструмент анализа экологического состояния орошаемых территорий, позволяет углубленно исследовать влияние современных земледельческих технологий на состояние компонентов природной среды.

### Выводы

Рассмотренная комплексная система оценки экологической безопасности орошения с целью определения экологической устойчивости орошаемых территорий позволяет учесть следующие показатели: техническое состояния оросительных систем; подъем уровня грунтовых вод, засоление почв, вынос гумуса из корнеобитаемого слоя, ирригационную эрозии и преобразование орошаемых земель.

2. Использование данной методики системы оценки экологической безопасности орошения позволяет количественно определять в процентах (%) уровень антропогенного воздействия для каждой орошаемой территории и фактический уровень ее экологической устойчивости.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Багров Н.М., Иванов В.М., Иванова Л.В. Сохранение и восстановление плодородия почв при строительной планировке орошаемых полей. – М.: Колос, 1981. - 143с.
2. Екологічна безпека та охорона навколишнього середовища.: Підручник /За ред. О.І. Бондаря, Г.І. Рудька – К.: Видавництво ПП «ЕКМО»; Х.: ТОВ «Укртехнологія», 2004. – 423 с.

3. Захаров Р.Ю., Губская У.А. Перспективные направления повышения уровня экологической безопасности орошаемых территорий. // Строительство и техногенная безопасность. Вып. 31. – Симферополь: НАПКС, 2010. – С. 166-175.
4. Боков В.А., Лущик А.В. Основы экологической безопасности: Учебное пособие. – Симферополь: СОНАТ, 1998. – 224 с., ил.
5. Экология Крыма. Справочное пособие./ Под ред. Н.В. Багрова. – Симферополь: Крымское учебно-педагогическое государственное издательство, 2003. – 360 с., ил.
6. Захаров Р.Ю., Губская У.А., Ким М.А., 2010: Оптимизация типоразмеров дождевальных машин для фермерских хозяйств. - Lublin: 12 C, Motrol, ISSN 1730-8658, - 276-283 с.
7. Шмаль А. Г. Методологические основы создания системы экологической безопасности территории. - Бронницы: - МП «ИКЦ» БНТВ, 2000. — 216 с.
8. Шавва К.И., Олексич В.Н. Методика количественной оценки экологического состояния реконструированных мелиоративных систем. Сборник «Экологические аспекты мелиорации земель». Кишинев, КСХИ им.М.В.Фрунзе, 1991 г.,19-20с.
9. Полуэктов Е.В. Эрозия почв и меры борьбы с ней. / Отв. ред. И.Н. Листопадов. Ростов н/Д: Изд-во. Рост, ун-та, 1984г., 161 с.

**УДК 621.01.216**

**Павленко А.М., Климов Р.А.**

*Полтавский национальный технический университет им. Юрия Кондратюка*

### **ДИНАМИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В НЕРАВНОВЕСНЫХ ЖИДКИХ СМЕСЯХ**

В данной статье приводятся результаты исследований процессов взаимодействия паровых фаз вскипающих взаимнонерастворимых жидкостей (жидких смесей), находящихся в состоянии термодинамического равновесия. Вскипание происходит в легкокипящей жидкости при нарушении равновесия относительно нее. При этом происходит динамическое измельчение дисперсной фазы (гомогенизация). Технологически этот эффект может быть получен при закипании перегретой эмульсии в результате резкого сброса давления.

**Динамическое измельчение фаз, равновесные состояния, метастабильные жидкости.**

#### **АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ.**

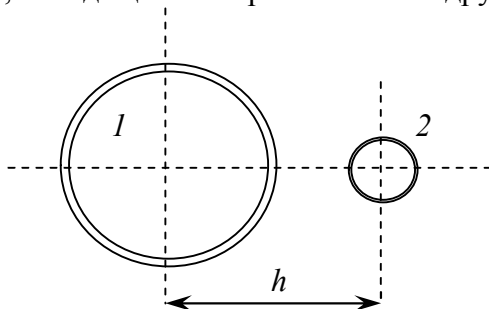
Классическая теория деформации и разрушения капель в зависимости от степени турбулентности потока принадлежит Колмогорову. Он рассматривал данный процесс как результат проявления большого числа случайных явлений и на основании теории вероятности получил логарифмическое распределение капель по размерам. Процессы деформации и дробления дисперсной фазы рассматривают многие исследователи [1-3], но данные явления требуют дополнительного изучения, которое позволит определить наиболее выгодные в экономическом и экологическом плане параметры для их реализации. В целом же проблему дробления жидких дисперсий в непрерывной среде делят на два направления [2]: дробление жидких капель в эмульсиях и газовых потоках. При рассмотрении данных процессов важным является устойчивость капли к действию сил, которые стремятся ее разрушить. Представленные в литературных источниках расчеты в большинстве случаев основываются на критериях Бонда и Вебера [1, 2], т.е. рассматривают только неустойчивости Релея-Тейлора и Кельвина-Гельмгольца, которые наиболее характерны для эмульгирования или дестабилизации дисперсных сред. В [1] изучено влияние каждого рабочего элемента ДИВЭ на деформацию и возможное последующее дробление капель дискретной жидкой фазы, из чего можно сделать вывод о том, что все

элементы ДИВЭ могут приводить к получению микронного диапазона частиц дисперсной фазы. Процессы деформирования и дробления капель при движении в жидкости описаны в [3]. При этом ни одна существующая модель не рассматривает процесс дробления вторичной жидкости с учетом формирования паровой прослойки на границе раздела двух фаз и силового взаимодействия относительно нескольких одновременно закипающих частиц дисперсной фазы. В основном описаны возможные процессы деформации и дробления под действием либо взрывного вскипания, роста паровых пузырей, либо под воздействием каверн, кавитационных полостей в момент их схлопывания, когда возможен наибольший динамический эффект. Но само образование паровой полости (пузырька) принимается гомогенным и рассматриваются лишь максимальные динамические эффекты, в то время как разрушение дисперсной фазы может происходить в любой другой момент времени из-за того, что гидродинамическая обстановка даже в окрестности двух растущих пузырьков является неопределенной и если частица дисперсной фазы находится на каком-то расстоянии от данных пузырей (либо между ними на определенном расстоянии), то эффект дробления данной частицы проявится по достижении максимальной силы, которая превысит критическую, рассчитанную по критериям Вебера или Бонда, но необязательно будет равна тому максимуму, который может действовать в данной системе. Если же рассматривать процесс дробления дисперсной фазы, которая сама закипает, то процесс становится еще более усложненным и требует детального изучения.

#### ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ.

В соответствии с критериями Вебера и Бонда [1], основными факторами, определяющими дробление дисперсной фазы, соответственно будут: скорость (относительная скорость)  $w$ , и ускорение  $g$ , действующие на данную частицу.

Рассмотрим систему, состоящую из двух капель разного размера при их закипании в результате сброса давления, находящихся на расстоянии  $h$  друг от друга (рис. 1).



**Рис. 1 – К модели дробления капель**

Определим силовое взаимодействие, которое может привести к появлению неустойчивости. Из совместного рассмотрения критерия Бонда и Вебера [1] с уравнением Релея-Плессета следует, что критические силы, приводящие к появлению неустойчивости Релея-Тейлора или Кельвина-Гельмгольца, соответственно равны

$$F_{Bo}^{cr} = 40\pi\sigma R_i; \quad F_{We}^{cr} = 30\pi\sigma R_i. \quad (1)$$

#### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ.

Деформация и дробление, как паровой прослойки, так и капли воды в эмульсиях типа вода-масло, может быть вызвана различным направлением вектора ускорения или вектора скорости. Примем, что деформация, дробление или перемещение будут происходить лишь в том случае, когда вектор ускорения имеет положительное направление и независимо от него вектор скорости также положителен. Будем считать, что капля №1 (рис.1) находится в начале координат, а капля №2 на расстоянии  $h$  от центра первой капли, т.е.  $x_1 = 0, x_2 = h$ . При этом принимаем такие допущения:

1) как бы ни было велико ускорение или скорость границы самой частицы, возможные неустойчивости, вызванные ими, не могут разрушить данную границу частицы;

2) если вектор ускорения (скорости) самой границы раздела однонаправлен с вектором ускорения, действующего на границу частицы со стороны соседней, то результирующий вектор равен действующему на границу со стороны соседней капли.

С учетом данных допущений, ускорение, стремящееся разрушить границу раздела капли №1, равно

$$g_{p_1} = \begin{cases} \sum_{i=1}^2 g_i; k_1 \geq 0, k_2 \geq 0, \\ -\sum_{i=1}^2 g_i; k_1 \leq 0, k_2 \leq 0, \\ g_2; k_1 < 0, k_2 > 0, \\ -g_2; k_1 > 0, k_2 < 0, \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{где } g_i = k_i \frac{R_i(x_i - R_1)}{\rho_m d_i^3}; \quad d_i = |x_i - R_1|;$$

$$k_i = p_{R_i} - p_\infty + 0.5w_{R_i}^2 \rho_m - \frac{2\rho_m w_{R_i}^2 R_i^3}{d_i^3}.$$

Тогда сила, вызванная ускорением либо замедлением потока равна

$$F_{Bo_1} = 4\pi\rho_m g_{p_1} R_1^3. \quad (3)$$

Аналогично можно записать для скорости

$$w_{p_1} = \begin{cases} \sum_{i=1}^2 w_i; w_{R_1} \geq 0, w_{R_2} \geq 0, \\ -\sum_{i=1}^2 w_i; w_{R_1} \leq 0, w_{R_2} \leq 0, \\ w_2; w_{R_1} < 0, w_{R_2} > 0, \\ -w_2; w_{R_1} > 0, w_{R_2} < 0, \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{где } w_i = w_{R_i} R_i^2 \frac{(x_i - R_1)}{d_i^3}.$$

Тогда сила динамического напора

$$F_{We_1} = 6\pi\rho_m R_1^2 |w_{p_1}| w_{p_1}. \quad (5)$$

Как известно, капиллярная сила  $F_\sigma$  независимо от формы деформированной капли всегда направлена так, чтобы восстановить сферическую форму, т.е. для того, чтобы поверхностная энергия Гиббса была минимальной. Поэтому, если капля по направлению своего движения деформирована в сплюснутый эллипсоид, капиллярная сила противодействует внешней силе. Если же она деформирована в удлинённый эллипсоид, то капиллярная сила совпадает по направлению с внешней силой. Отсюда следует, что в процессе деформации форма удлинённого эллипсоида является неустойчивой, тогда как форма сплюснутого эллипсоида может быть квазиустойчивой.

Возможно существование минимума данной капиллярной силы. Будем считать, что минимум определяется силой Лапласа и соответствующая сила равна

$$F_{\sigma_1} = 8\pi\sigma R_1. \quad (6)$$

Таким образом, при превышении внешней силой силы  $F_\sigma$  будет происходить деформация данного объема, при равенстве сил – равновесие, а при  $F_\sigma > F_{Bo,We}$  – отталкивание данного объема без деформации.

Разности между  $F_{Bo,We}$  и  $F_\sigma$  равны

$$\Delta F_{Bo} = F_{Bo} - F_\sigma; \Delta F_{We} = F_{We} - F_\sigma. \quad (7)$$

На примере для силы, вызванной ускорением либо замедлением потока можно записать такие условия

$F_{Bo} \geq F_{Bo}^{cr}$  - дробление;  $\Delta F_{Bo} > 0$  - деформация;  $\Delta F_{Bo} = 0$  - равновесие;  $\Delta F_{Bo} < 0$  - перемещение.

Система уравнений (2) – (7) для частицы №2, находящейся на расстоянии  $h$  от первой частицы примет вид

$$g_{p_2} = \begin{cases} -\sum_{i=1}^2 g_i; k_1 \geq 0, k_2 \geq 0, \\ \sum_{i=1}^2 g_i; k_1 \leq 0, k_2 \leq 0, \\ g_1; k_1 < 0, k_2 > 0, \\ -g_1; k_1 > 0, k_2 < 0, \end{cases} ; w_{p_2} = \begin{cases} -\sum_{i=1}^2 w_i; w_{R_1} \geq 0, w_{R_2} \geq 0, \\ \sum_{i=1}^2 w_i; w_{R_1} \leq 0, w_{R_2} \leq 0, \\ w_1; w_{R_1} < 0, w_{R_2} > 0, \\ -w_1; w_{R_1} > 0, w_{R_2} < 0, \end{cases} \quad (8)$$

$$\text{где } g_i = k_i \frac{R_i (x_i - j)}{\rho_m d_i^3}; w_i = w_{R_i} R_i^2 \frac{(x_i - j)}{d_i^3}; d_i = |x_i - j|; j = h - R_2.$$

$$F_{Bo_2} = 4\pi\rho_m g_{p_2} R_2^3. \quad (9)$$

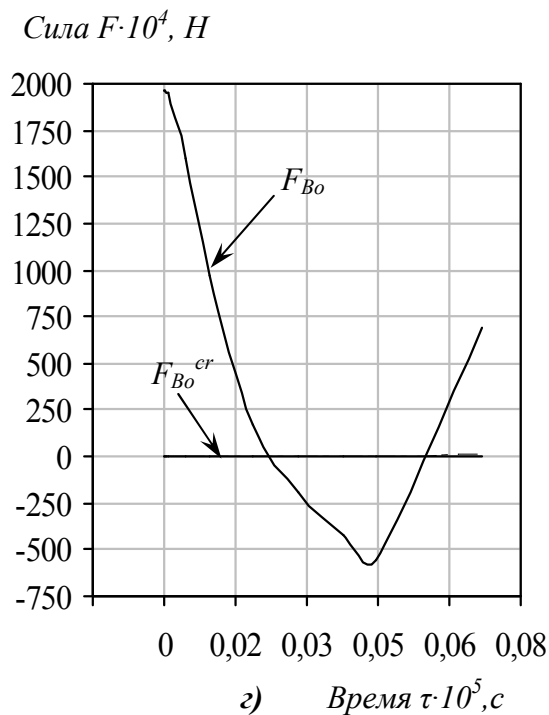
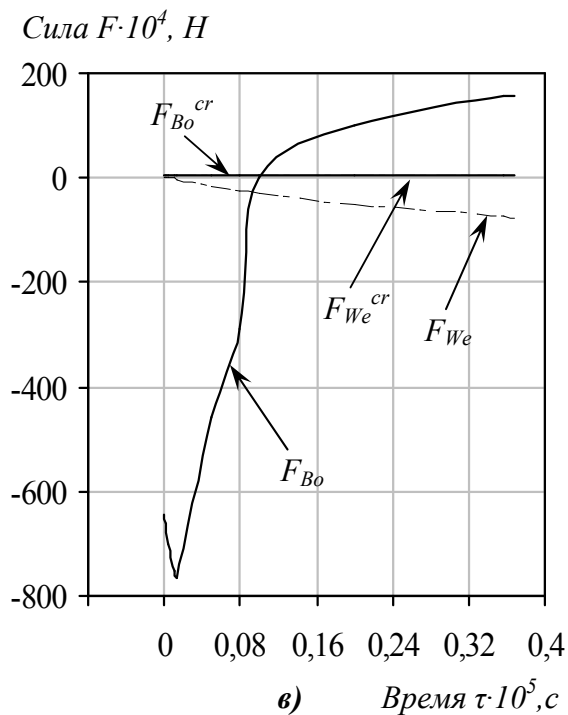
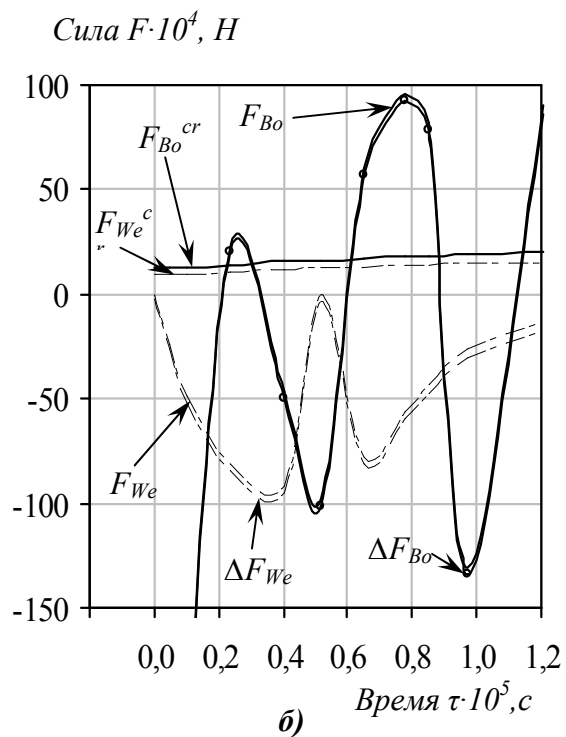
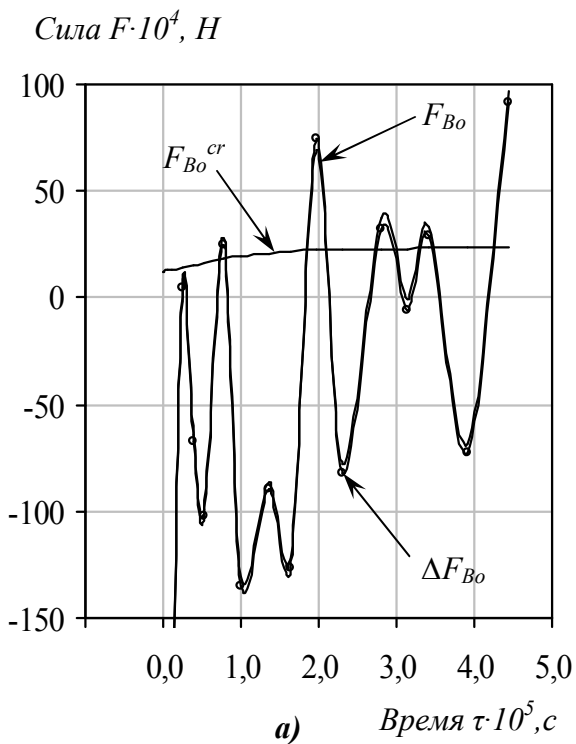
$$F_{We_2} = 6\pi\rho_m R_2^2 |w_{p_2}| w_{p_2}. \quad (10)$$

$$F_{\sigma_2} = 8\pi\sigma R_2. \quad (11)$$

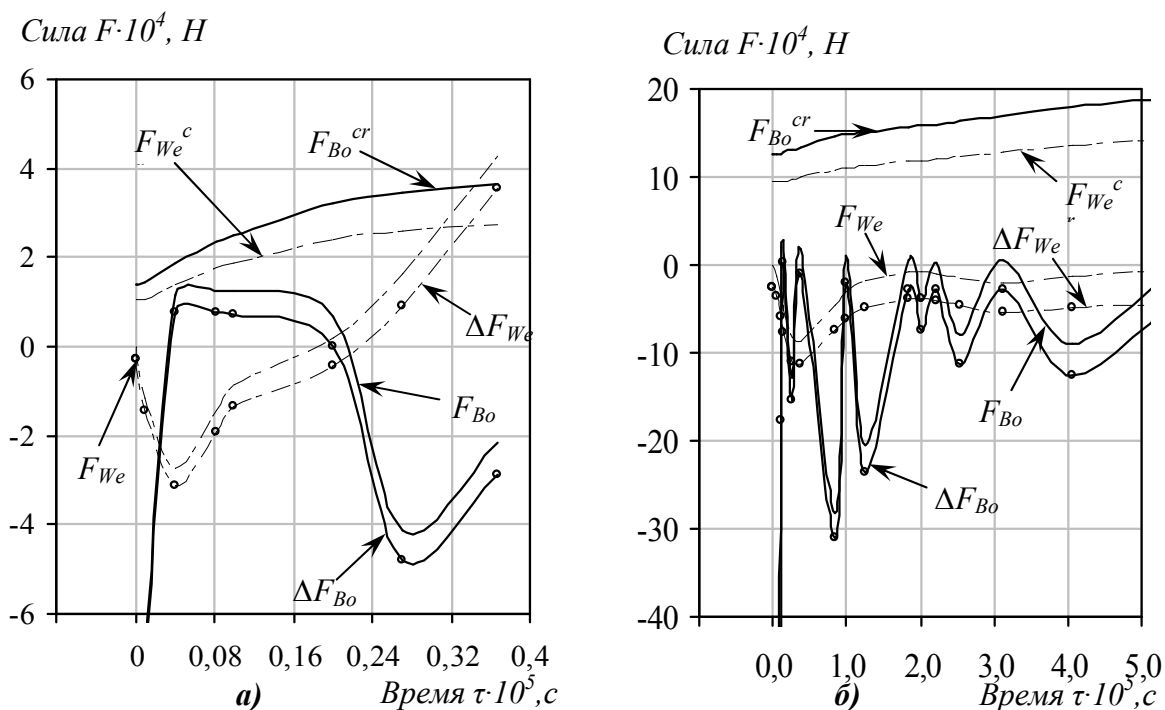
### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ.

В качестве примера рассмотрим две капли эмульсии с  $R_{1,0} = 100$  мкм и  $R_{2,0} = 10$  мкм, которые находятся на различном расстоянии  $h$  друг от друга, при начальной температуре 180 °С (130 °С) и соответствующем давлении насыщения. В некоторый момент времени давление понижается до атмосферного, тем самым, вызывая интенсивный рост паровой фазы на границах раздела масло-вода и дальнейший рост границы раздела масло-пар. Исследуем, как изменяются силы, вызывающие перемещение, деформацию или дробление парового объема во времени при различных расстояниях между каплями, на поверхностях большой и малой каплей. Результаты расчетов представлены на рис. 2, 3. Из данных рисунков видно, что наибольший эффект в разрушение капель приносит нестабильность типа Релея-Тейлора.

Во всех показанных случаях она играет определяющую роль, в то время как нестабильность типа Кельвина-Гельмгольца также наблюдается (рис. 3а), но лишь после того как ее динамический эффект приведет к разрушению большой капли (из сравнения рис. 2в) и как следствие разрушения малой капли не произойдет. При небольших расстояниях  $h$  (рис. 2в, 2г) разрушение парового объема большой капли будет происходить практически сразу после сброса давления. По мере увеличения расстояния (рис. 2а, 2б) время до разрушения также увеличивается, что и следовало ожидать, переходя в пределе до бесконечности, если не рассматривать силовое взаимодействие между каплями при их сближении и соприкосновении поверхностей.



**Рис. 2** – Изменение сил, действующих на каплю №1 (рис. 1), во времени при  $R_{1,0} = 100$  мкм,  $R_{2,0} = 10$  мкм,  $t_0 = 180$  °С,  $p_\infty = 1$  атм,  $h = 250$  мкм (а),  $h = 200$  мкм (б),  $h = 150$  мкм (в),  $h = 120$  мкм (г)



**Рис. 3 – Изменение сил, действующих на каплю №2 (рис. 1), во времени при  $R_{1,0} = 100$  мкм,  $R_{2,0} = 10$  мкм,  $p_{\infty} = 1$  атм,  $h = 150$  мкм,  $t_0 = 180$  °С (а),  $t_0 = 130$  °С (б)**

При расстоянии между каплями равному 250 мкм (рис. 2а), т.е. в 2.5 раза превышающем начальный радиус большой капли, дробление будет наблюдаться на втором пике колебаний силы  $F_{Bo}$ , в то время как при меньших расстояниях это первый пик. При  $\Delta F_{Bo,We} > 0$ ,  $\Delta F_{Bo,We}$  показывает, что в данный момент времени возможно перемещение или деформация объема. Интересным является то, что при расстоянии 150 мкм (рис. 2в, 3а) происходит деформация малой капли до того как она раздробит большую, в то время как большая капля до этого момента времени даже не будет деформирована. Это можно объяснить тем, что процессы ускорения-замедления поверхности раздела у малой капли протекают гораздо быстрее, а данный пик силы ее деформации (рис. 3а) вызван резким замедлением ее границы раздела, в то время как граница раздела масло-пар большой капли еще ускоряется. Также необходимо учитывать тот факт, что большая площадь поверхности (большой радиус капли) создает большую окрестность своего воздействия.

Как показано на рис. 3б при снижении начальной температуры до 130 °С даже при расстоянии 150 мкм эффектов дробления или деформации не наблюдается вообще. В результате расчета получено, что снижение начальной температуры со 180 °С до 130 °С при сбросе давления от величины насыщения до атмосферного, для данных радиусов капель, приводит к снижению максимального расстояния при котором еще возможно дробление в  $\approx 3$  раза.

### Выводы

Представленные в [5] фотографии промышленных ЭТС, показывают характерный размер и расстояние между дисперсными частицами. Из данных фотографий следует, что практически всегда близко расположены большие и малые капли эмульсии. Учитывая характерный относительный размер капель и расстояние между ними, можно сделать вывод о том, что при температурах 180 °С и 130 °С дробление будет происходить однозначно. Конечно, для данного типа эмульсий необходимо рассматривать эффекты,

происходящие в обратной эмульсии внутри прямой, а также важным остается вопрос о времени зарождения паровой прослойки. Остается невыясненным вопрос о перемещении данных капель, т.к. оно приводит к взаимному перемещению капли воды и пара, вследствие чего паровая прослойка может сорваться. Конечно, наибольшее динамическое воздействие для расчетных капель может быть при их максимальном сближении. В то время как при больших расстояниях возможен лишь срыв пара, при малых расстояниях и больших начальных температурах возможно и дробление капли воды. Учитывая, что закипание при различных площадях капель происходит не за одно и то же время, можно предсказать еще более интенсивные процессы дробления дисперсной фазы эмульсии.

В целом же данная модель позволяет в достаточно простой постановке рассмотреть процессы дробления больших капель дисперсной фазы соседними малыми каплями при различных начальных температурах и расстояниях между ними. Учет перемещения и слияния капель будет проведен дальнейшим усовершенствованием модели.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долинский А.А. Дискретно – импульсная трансформация энергии в адиабатно вскипающем потоке / А.А. Долинский, Б.И. Басок // Промышленная теплотехника. – 2001. – Т.23. – №4-5. – С.5 – 20.
2. Шурчкова Ю.А. Анализ механизмов дробления капель при адиабатном вскипании и смешении дисперсных систем / Ю.А. Шурчкова, Т.В. Малишевский // Промышленная теплотехника. – 2000. – Т.22. – №1. – С.17– 23.
3. Иваницкий Г.К. Моделирование процессов деформирования и дробления капель при движении в жидкости // Промышленная теплотехника. – 1997. – Т.19. – №1. – С.9 – 16.
4. Павленко А.М. Кинетика испарения в процессах гомогенизации / А.М. Павленко, Р.А. Климов, Б.И.Басок // Промышленная теплотехника. – 2006. – Т. 28. – №6. – С.14 – 20.
5. Долинский А.А. Теплофизические процессы в эмульсиях / А.А. Долинский, А.М. Павленко, Б.И. Басок. – Киев, Наукова думка, 2005. – 265с.

**УДК 62-664.2**

**Редькин В.М., аспирант**

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

#### **АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЖАРОТРУБНОГО КОТЛА ПРИ СЖИГАНИИ СМОЛОСОДЕРЖАЩЕГО ТОПЛИВА**

Суммарные потенциальные ресурсы возобновляемых нетрадиционных источников энергии, а точнее сырье для производства такого вида топлива, как древесные пеллеты, в Крыму достаточны, чтобы обеспечить в ближайшей перспективе значительную часть потребности в топливных ресурсах республики, тем самым сократив зависимость в энергетических ресурсах из материковой части страны. При применении такого вида топлива возникает ряд недостатков, которые, на данный момент, мало изучены. В данной статье проведен анализ проблемы образования отложений в жаротрубных теплогенерирующих установках при сжигании хвойной древесины. Выявлены основные задачи для решения проблемы загрязнения смолами поверхностей нагрева теплогенерирующих установок.

**Теплогенерирующие установки, энергосбережение, отходы деревообработки, смолосодержащее топливо, кристаллизация, теплоотдача, тепловой расчёт, отложения, загрязнение**

## **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время при реконструкции существующих котельных, или при строительстве новых, инженеры-энергетики делают выбор в пользу жаротрубных котлов малой/средней мощности, работающих на биомассе: древесных отходах деревообработки, образующихся при санитарной вырубке лесных массивов, лесозаготовке, при обработке растительных насаждений в городской черте и т.д. В первую очередь, это связано со сложившейся экономической ситуацией, когда государство стало заложником дорого импортного топлива, во-вторых, с принятыми на законодательном уровне мероприятиями по энергосбережению, в-третьих, с экологической точки зрения - такой подход решает проблему переработки и утилизации древесных отходов и сохраняет существующие леса. Учитывая сложившуюся ситуацию – применение биомассы становится приоритетным направлением на пути к энергонезависимости.

Большой интерес к жаротрубным котлам обусловлен тем, что данные теплогенерирующие установки просты в обслуживании и имеют большой водяной объем (по сравнению с водотрубными). Они могут применяться не только для технологических нужд, но и для обогрева помещений.

Надежность и экономичность работы котлов в значительной степени определяются состоянием поверхностей нагрева. При сжигании смолосодержащего топлива на поверхностях нагрева котлов образуются отложения в виде смолы, в результате чего снижаются технико-экономические показатели котельных установок. Внутренние отложения на стенках труб вызывают повышение температуры металла, что может привести к их перегреву и разрыву.

Следует также отметить, что в жаротрубных котлах на твёрдом топливе (в нашем случае – древесина) дымогарные трубы располагаются горизонтально, поэтому они быстрее забиваются различными отложениями, во-вторых, для них сложно применять механическую очистку, поэтому решение поставленной проблемы является актуальным.

### **АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ**

Для обретения энергонезависимости необходимо изучать условия сжигания и влияние на работу котла различных видов топлива и главным образом местного топлива, чтобы исключить его перевозку на сколько-нибудь значительное расстояние. Далее, путем совершенствования конструкций котлов, следует стремиться повышать коэффициент полезного действия установки. Автоматизация процессов получения тепла и выдачи его в требующихся количествах потребителю пока хорошо освоена в установках, работающих на газообразном топливе. Изучение процессов в котле при работе на твердых видах топлива (древесные пеллеты) в наших условиях только еще начинает внедряться.

На данный момент проблема образования смолистых отложений в жаротрубных котлах при сжигании смолосодержащего топлива, в силу своей новизны, практически не изучена, хотя для получения тепловой энергии на полуострове в последнее время все чаще устанавливаются котлы и используют местное топливо, большую часть которого составляет хвойная порода.

Самое важное при использовании жаротрубных котлов со сжиганием древесного топлива, это характеристики используемой древесины. Использование дров из древесины хвойных пород (ель, сосна) имеет ряд недостатков: плотность такой древесины меньше, а поэтому и меньше теплотворная способность такого вида топлива, то есть в котёл необходимо будет подавать топливо чаще, нежели, если бы, применялись отходы лиственных пород. Но основным фактором при выборе топлива является его доступность. Для крымского полуострова хвойная древесина является более доступной, чем другие, с этим и связано их применение, и возникновение данной проблемы.

Смола в древесине – это смесь различных веществ; жидкая, вязкая, иногда твёрдая при комнатной температуре. В состав смолы входят углерод, водород, кислород и др. При нагревании смола испаряется, образуя газообразный продукт – пары смолы. Во время сжигания топлива его несгоревшие органические остатки и минеральные примеси

переходят в газовый поток во взвешенном состоянии и большая их часть с газовым потоком выносится из котла, а незначительная их часть остаётся на поверхностях нагрева в виде отложений. Так смола накапливается на внутренних поверхностях котла.

Образование отложений на поверхностях нагрева котла сопровождается значительным повышением температуры уходящих газов, и, как следствие, увеличением скорости газов [1].

Формирование отложений на поверхностях нагрева — результат сложных аэродинамических и физико-химических процессов.

Смолу можно отнести к связанным отложениям, так как именно они обладают высокими вяжущими свойствами. Основная их особенность – способность значительного нарастания во времени. Образование таких отложений, наряду со значительным снижением тепловой эффективности поверхности, сопровождается увеличением аэродинамического сопротивления, снижением нагрузки, перерасходом топлива [1].

Механизм образования связанных отложений наиболее полно изучен И.П. Эпиком [2].

### **ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Цель работы. Решение проблемы образования смолистых отложений на внутренних поверхностях жаротрубного котла.

Поставленная цель может быть достигнута только за счёт анализа предполагаемых данных о проблеме возникающих при эксплуатации котлов, использующих в качестве топлива – хвойные породы древесины.

Основной задачей данной проблемы является нахождение температуры кристаллизации смолы, допускать которую при эксплуатации котла нежелательно во избежание уменьшения теплоотдачи поверхностей нагрева жаротрубных ТГУ.

### **МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ**

При принятии решения об использовании жаротрубных теплогенерирующих установок для получения тепла, привязывая к нашей местности, стоит учесть два фактора: для крымского полуострова основным сжигаемым древесным топливом являются хвойные породы, содержащие в своём составе смолу, а также, для центральной и южной части Крыма, характерна непостоянность температуры окружающего воздуха: нередко температура воздуха зимой может достигать +15 °С. Поэтому из опыта эксплуатации жаротрубных котлов при работе на таком биотопливе возникает следующий существенный недостаток: в процессе сжигания топлива его несгоревшие органические остатки переходят в газовый поток во взвешенном состоянии, и в виде смолистых отложений остаются на внутренних поверхностях котла. Учитывая второй фактор - при циклическом действии котла, то есть периодическом его отключении, происходит процесс её остывания, что приводит к тому, что смолистые отложения, образованные по ходу действия дымогарных газов, на внутренних поверхностях котла кристаллизуются (застывают). Кроме стенок «зарастает» и выход в дымоход - падает мощность котла, так как снижается теплоотдача воспринимающих поверхностей в связи с нарастающим слоем затвердевшей смолы. Стоит заметить, что смолистые отложения защищают стенки котла от конденсата и ржавчины. Но, если не принимать меры по устранению данных отложений, со временем эффективность котла в связи с уменьшением теплоотдачи упадёт, что является недопустимым при современных требованиях к рациональному, экономичному и надёжному процессу эксплуатации.

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ**

Для решения данной проблемы, в первую очередь, стоит задача нахождения температуры кристаллизации смолы. Решение такой задачи затрудняется тем, что для полного и правильного изучения данного процесса необходимо определить температуру газовой среды и тепловосприятие рабочего тела в поверхностях нагрева котла. Эти данные можно получить, проведя тепловой расчёт заданного прототипа котла. При проведении таких расчётов для различных котлов импортного производства получены данные,

которые заведомо несут ложную информацию, то есть можно сказать, что до сегодняшнего времени не существует точной методики теплового расчёта жаротрубных котлов малой/средней мощности. «Нормативный метод расчёта котельных установок» [3], как универсальный метод расчёта, предназначен для расчётов парогенераторов большой мощности и не пригоден для расчётов жаротрубных котлов малой/средней мощности ввиду некоторых различий [4]. Также сложностью является то, что фирмы-производители современного котельного оборудования не предоставляют информацию о поверхностях нагрева котлов, которые являются исходными данными для теплового расчёта котла (объем жаровой трубы, площадь конвективных поверхностей нагрева, диаметр и количество дымогарных труб и т.д.).

### **Выводы**

Выявлены основные проблемы, возникающие при решении поставленной задачи:

Необходимо знать все технические характеристики принимаемого жаротрубного котла, то есть обратиться непосредственно к поставщику с просьбой о предоставлении данных для теплового расчёта или получение уже готовых данных для дальнейших расчётов.

Производить тепловой расчёт по уточнённой методике специального для жаротрубных котлов малой/средней мощности, во избежание получения заведомо не достоверных данных.

Имея все необходимые данные, можно рассчитать температуру кристаллизации смолистых отложений. Зная данный параметр, можно принимать решения по устранению данных отложений путём совершенствования жаротрубного котла.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Гаврилов А.Ф. Уменьшение вредных выбросов при очистке паровых котлов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 240с.
2. Эпик И.П. Влияние минеральной части сланцев на условия работы котлоагрегатов. – Таллин: Эстонгосиздат, 1961. – 250с.
3. Тепловой расчёт котельных агрегатов (Нормативный метод)/под ред. Н. В. Кузнецова и др. - М., «Энергия», 1973. – 296 с.
4. Сафьянец С.М. Анализ особенностей теплоотдачи в жаротрубных котлах малой мощности/ Сафьянец С.М., Боев Ю.А., Сафьянец А.С.// Наукові праці ДонНТУ. Металургія – Донецьк, 2011. – С.213-220.

**УДК 627.01**

**Снегирёв В.С.**

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

### **КОНТРОЛЬ СТАБИЛЬНОСТИ БЕРЕГОВ БУХТЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КРЫМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАБОЛИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ ФОРМЫ ЗАЛИВА**

Рассматривается метод, позволяющий осуществлять контроль стабильности берега залива в естественных и искусственных условиях, посредством применения параболического уравнения. В работе представлен практический пример технического применения данного метода на примере бухты, расположенной на территории Западного побережья Крыма.

**Устойчивость берега залива, статическое равновесие, динамическое равновесие, баланс наносов, дифракция, рефрагированная волна, эрозия береговой линии**

## ВВЕДЕНИЕ

Рекреационный потенциал Автономной республики Крым может обеспечить широкие возможности эффективного природопользования на морском побережье. В свою очередь для решения этой задачи выдвигаются высокие требования, связанные с наличием эффективных инженерных сооружений, защищающих берега от воздействия морских волн.

Объектом исследования является Западное побережье Крыма. Это участок побережья, расположенный между городами Севастополь и Евпатория. На сегодня наблюдается достаточно актуальная проблема нерационального и неэффективного использования земель рекреационного назначения, а также природных лечебных ресурсов этого участка. Это обусловлено тем, что на данном этапе разрабатываются и внедряются проекты застройки и благоустройства побережья, создаются локальные планы реконструкции и расширения приморских поселков. Вместе с тем, побережье застраивается бессистемно. Данная территория подвержена абразионным, оползневым процессам, уменьшению ширины пляжей и др. Генетические типы берегов западного побережья Крыма см. рис. 1. Отсутствие контроля застройки в оползне-, абразионно- и обвалоопасных участках приводит к активизации протекающих деструктивных процессов и утрате ландшафтного и биологического разнообразия побережий.



**Рис. 1. Генетические типы берегов Западного побережья Крыма**

В настоящее время интерес к данной местности, как к рекреационно-туристическому региону, усиливается, т.к. он богат своими природно-минеральными ресурсами и уникальными лечебными свойствами. Существует концепция государственной целевой Программы развития территории Западного Крыма на 2012-2020 гг., разработанная правительством АРК. Программа предусматривает развитие курортно-рекреационной отрасли с целью повышения конкурентных позиций западного Крыма как санаторно-курортного и рекреационно-туристического региона [1].

Берега заливов, ограниченные естественными мысами или созданными искусственно, являются одной из наиболее различных форм береговых черт на географических и гидрографических картах, снимках с воздуха и спутников (например, Google Earth). Они имеют изогнутую форму в плане и отчетливые контуры. Такие берега обычно ограничены выступами скал или искусственными конструкциями. Несмотря на их широкое распространение во множестве стран, большинство из них находятся в динамическом равновесии, что требует постоянного пополнения наносами для поддержания их устойчивости – условие, на сегодняшний день практически невыполнимое. Однако не так давно было подтверждено, что устойчивость берега залива может поддерживаться без постоянного пополнения наносами при постоянном повышении уровня воды. На основе этого утверждения в конце 80-х годов было выведено

эмпирическое соотношение, названное впоследствии параболическим уравнением формы залива, и первоначально имеющее целью защиту береговой линии [2].

С точки зрения устойчивости берег залива может характеризоваться как:

- находящийся в статическом равновесии;
- находящийся в динамическом равновесии;
- находящийся в нестабильном состоянии;

Статическое равновесие достигается, когда передние гряды волн одновременно разбиваются о берег по всей его периферии, вследствие чего прибрежное течение практически неощутимо, и нет необходимости в постоянном пополнении наносами для поддержания его устойчивости.

В свою очередь, для берега залива в динамическом равновесии баланс наносов является необходимым условием для поддержания его устойчивости. Иначе береговая линия может существенно сократиться, по мере снижения уровня наносов. В этом случае берег бухты в динамическом равновесии будет уменьшаться до границ, определенных статическим равновесием.

Берег находится в нестабильном состоянии в случае, когда береговая линия изогнута с подветренной стороны и это явление сопровождается недостатком наносов, и вследствие чего изменением геометрии побережья.

#### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Начиная с 40-х годов минувшего века геологами, географами и инженерами было предпринято множество попыток вывести эмпирическую формулу для части или всей периферии залива. К ним относятся логарифмическая спиральная модель [3], тангенциальная модель [4] и параболическая модель формы залива [5]. Данные модели отличны друг от друга в математическом выражении, системе координат, контрольных параметрах и отношении длины волны к точке дифракции волны.

В первых двух моделях больше внимания уделяется лишь прилаживанию геометрии к береговой линии, чем устойчивости конструкции, без учета направления волны и расположения мыса по отношению к берегу. С другой стороны, последняя модель (параболической формы залива) связывает изменение вида береговой линии с крайней точкой мыса или точкой дифракции волны, что характеризуется квадратным выражением данной модели, следовательно, можно определить перемещение контрольной точки с помощью искусственного расширения. Данное параболическое уравнение формы залива (уравнение параболической формы залива) описано в [6-9].

На сегодняшний день в связи с необходимостью решения проблемы нерационального и неэффективного использования земель рекреационного назначения, а также природных лечебных ресурсов Западного побережья Крыма, угрожаящим характером абразионных процессов прибрежная полоса является одним из главных объектов развития гражданского строительства и рекреации.

Контроль стабильности необходим не только для естественных бухт, но и применим для ровного берега, который может быть преобразован в залив, путем использования искусственных конструкций. В идеале берег залива должен включать искусственные мысы и противосторомые укрепления для создания формы залива в статическом равновесии. Искусственный мыс должен представлять собой часть полузапруды или отдельный волнолом.

Начиная с 60-х годов прошлого века, во многих странах Средиземноморского бассейна, в частности в Испании, Франции, Италии и Израиле были построены искусственные берега заливов в целях развития рекреационной базы и туризма.

Применение параболического уравнения формы залива для контроля стабильности берегов бухт Западного побережья Крыма может служить инструментом по предотвращению эрозионных и процессов абразии береговой линии, а также для разработки проектов рекреации.

### ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

Цель данной работы – продемонстрировать подход технического применения параболического уравнения формы залива для контроля стабильности берегов бухт, расположенных на Западном побережье Крыма (на примере бухты между мысом Тюбек и мысом Керменчик в с. Угловое Бахчисарайского района).

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Параболическое уравнение формы залива имеет следующий вид [2]:

$$\frac{R_n}{R_\beta} = C_0 + C_1 \left( \frac{\beta}{\theta_n} \right) + C_2 \left( \frac{\beta}{\theta_n} \right)^2 \quad (1)$$

где:

Отношение радиусов  $R_n/R_\beta$ , как выяснилось при модельных испытаниях, с изменением углов  $\beta$  и  $\theta_n$ , описывается семейством кривых, которое аппроксимируется данным уравнением.

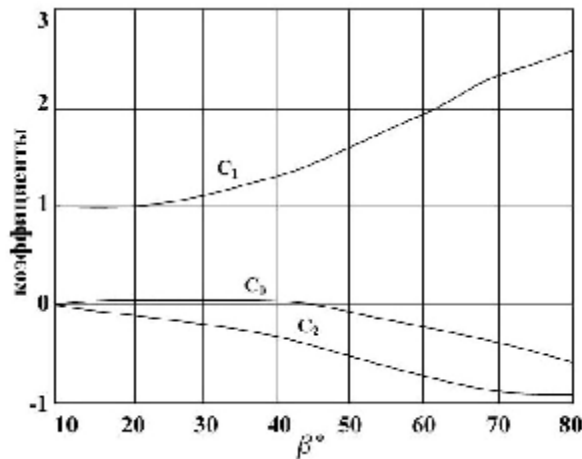
$R_\beta$  – радиус, проведенный под углом  $\beta$  из точки дифракции до точки касания прямой, нормально ориентированной относительно волнового луча, и параболической кривой;

$R_n$  – переменный радиус-вектор, проведенный из точки дифракции под углом  $\theta_n$  к линии гребня рефрагированных волн; конец радиуса-вектора определяет точки параболической кривой;

$\beta$  – угол между радиусом  $R_\beta$  и линией гребней рефрагированных волн; для равновесных (стабильных) условий это также угол между радиусом  $R_\beta$  и касательной к параболической кривой;

$\theta$  – угол между радиусами  $R_\beta$  и  $R_n$ , принимается с шагом, достаточным для построения параболической кривой;

Коэффициенты  $C_0$ ,  $C_1$  и  $C_2$  учитывают изменения угла подхода волн  $\beta$  и определяются по графикам, показанным на рис. 2.



**Рис. 2. График для определения коэффициентов  $C_0$ ,  $C_1$ ,  $C_2$  (уравнение 1)**

Уравнение (1) имеет два основных параметра – угол  $\beta$  (измеряется в радианах) и длина контрольной линии  $R_\beta$ . Первый – угол подхода волн – измеряется в точке дифракции волны от линии гребня исходной волны до контрольной линии  $R_\beta$ , которая соединяет точку дифракции волны и контрольную точку снижения кривизны бухты на наиболее прямой части залива. Следует отметить, что любая точка находящаяся на прямолинейном участке бухты, где кривизна практически отсутствует, может быть выбрана как контрольная точка снижения кривизны бухты, не вызывая при этом ощутимых

изменений в конечных расчетах и значениях  $R_n$  и  $R_\beta$ . Это можно зрительно определить на карте, аэроснимке или горизонтальной проекции местности. Также в данном уравнении есть два зависимых параметра: переменный радиус-вектор  $R_n$ , проведенный из точки дифракции волны к любой точке на изогнутой береговой линии, образующий угол  $\theta_n$  с линией гребня исходной волны. Радиус вектор  $R_n$  расходуется лучами из точки дифракции волны с радиальным шагом угла  $\theta_n$ , принимаемым достаточным для построения параболической кривой.

Три коэффициента  $C_0, C_1, C_2$  данного уравнения были получены путем регрессивного анализа кривых описывающих линии контуров природных и искусственных заливов с учетом изменения угла  $\beta$  [2]. Значения коэффициентов  $C$  могут быть упрощены для того, чтобы облегчить расчет  $R_n/R_\beta$ .

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Рассмотрим действие параболического уравнения формы залива на примере акватории бухты, расположенной между мысом Лукулл и мысом Тюбек в селе Угловое Бахчисарайского района (см. рис.3). Схема для определения основных и зависимых параметров для построения параболической модели статической формы рассматриваемого залива отображена на рис.4.

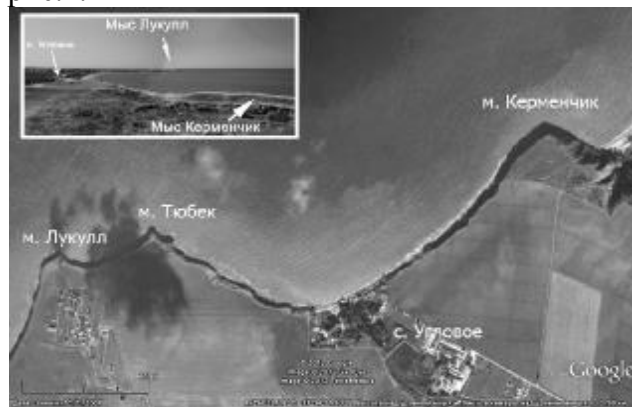


Рис. 3. Общий вид местности (с. Угловое)

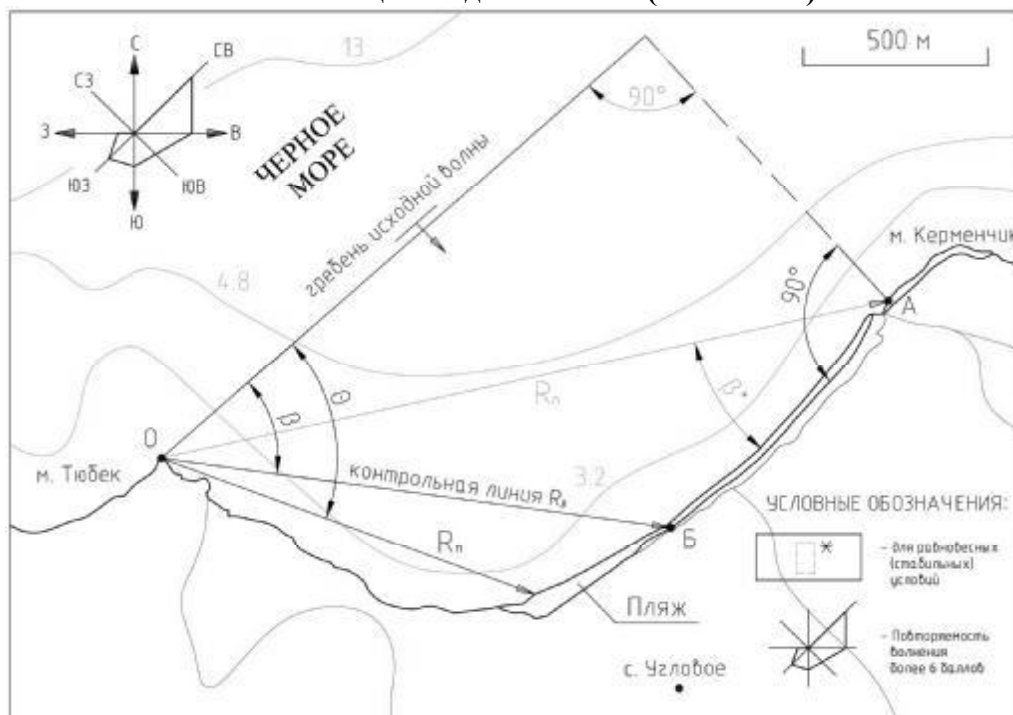


Рис. 4. Схема к определению основных и зависимых параметров для построения модели статической формы залива между мысами Тюбек и Керменчик

Для начала необходимо выбрать контрольную точку снижения кривизны бухты на наиболее прямой части залива (точка А на участке А-Б) и соединить её с точкой дифракции волн (точка О) для создания контрольной линии  $R_p$ . Точка дифракции волн – это точка отсчета для расположения в дальнейшем искусственного мыса. Затем следует определить угол подхода волн  $\beta$  и длину контрольной линии; рассчитать ряд лучей и полярных углов ( $R_n, \theta_n$ ) на береговой линии залива, начиная с  $\theta_n = R_n$  в контрольной точке снижения кривизны бухты; и в итоге схематически изобразить полученную береговую линию, моделирующую статически равновесную бухту. Шаг угла  $\theta$  принимаем равным  $10^\circ$  для точного построения параболической кривой. Полученная параболическая модель, описывающая статическую форму залива в с. Угловое отображена на рис.5. Следующий этап - визуальная оценка устойчивости берега залива по близости расположения существующей береговой линии к прогнозируемой в статическом равновесии. В том случае, если они совпадают или близки по значению, существующий берег может быть классифицирован как находящийся в статическом равновесии или почти статическом равновесии. При таких условиях устойчивость залива не будет подвержена изменениям в случае снижения уровня наносов изнутри или извне, кроме случая наступления сильного шторма. Если существующая береговая линия больше выходит в море, чем прогнозируемая, тогда берег находится в динамическом равновесии, при котором устойчивость береговой линии зависит от баланса бюджета наносов. Результаты определения расчетных характеристик для построения параболической модели см. табл.1.

**Таблица 1**

**Расчетные характеристики для построения параболической кривой**

n	$\beta, \text{рад}(\circ)$	$R_{\beta, \text{м}}$	$\theta_n, \circ$	$\theta_n, \text{рад}$	$C_0$	$C_1$	$C_2$	$R_n, \text{м}$	n	$\beta, \text{рад}(\circ)$	$R_{\beta, \text{м}}$	$\theta_n, \circ$	$\theta_n, \text{рад}$	$C_0$	$C_1$	$C_2$	$R_n, \text{м}$
1	0.87 (50)	1380	60	1.05	-0.1	1.5	-0.4	1204	14	0.87 (50)	1380	190	3.32	-0.1	1.5	-0.4	369
2			70	1.22				1059	15			200	3.49				345
3			80	1.40				940	16			210	3.67				324
4			90	1.57				842	17			220	3.84				304
5			100	1.75				759	18			230	4.01				286
6			110	1.92				689	19			240	4.19				269
7			120	2.09				629	20			250	4.36				254
8			130	2.27				576	21			260	4.54				240
9			140	2.44				531	22			270	4.71				226
10			150	2.62				491	23			280	4.89				214
11			160	2.79				455	24			290	5.06				202
12			170	2.97				423	25			300	5.24				192
13			180	3.14				394	26			310	5.41				182

Анализируя модель, показанную на рис.5, можно сделать вывод о том, что берег бухты находится в динамическом равновесии и при условии снижения уровня наносов береговая линия может существенно сократиться. В этом случае берег бухты между мысом Тюбек и мысом Керменчик будет уменьшаться до границ, определенных условиями статического равновесия. Исходя из этого, обоснованным является решение преобразования рассматриваемой бухты в состояние статического равновесия. Для этого необходимо возведение искусственного мыса длиной 480м, берущего свое начало в точке дифракции волн (точка О), имеющего вид, как показано на рис. 6.

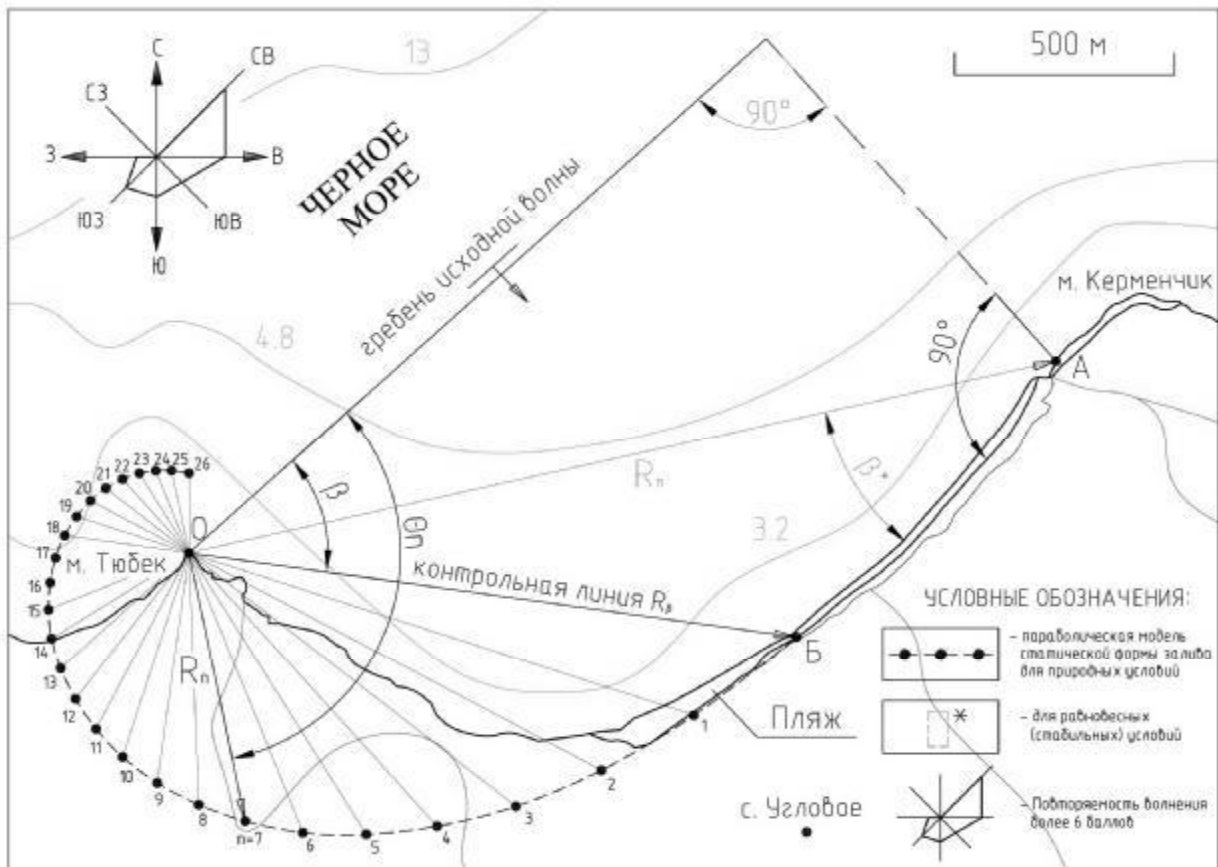


Рис. 5. Параболическая модель статической формы залива для бухты между мысом Тюбек и мысом Керменчик

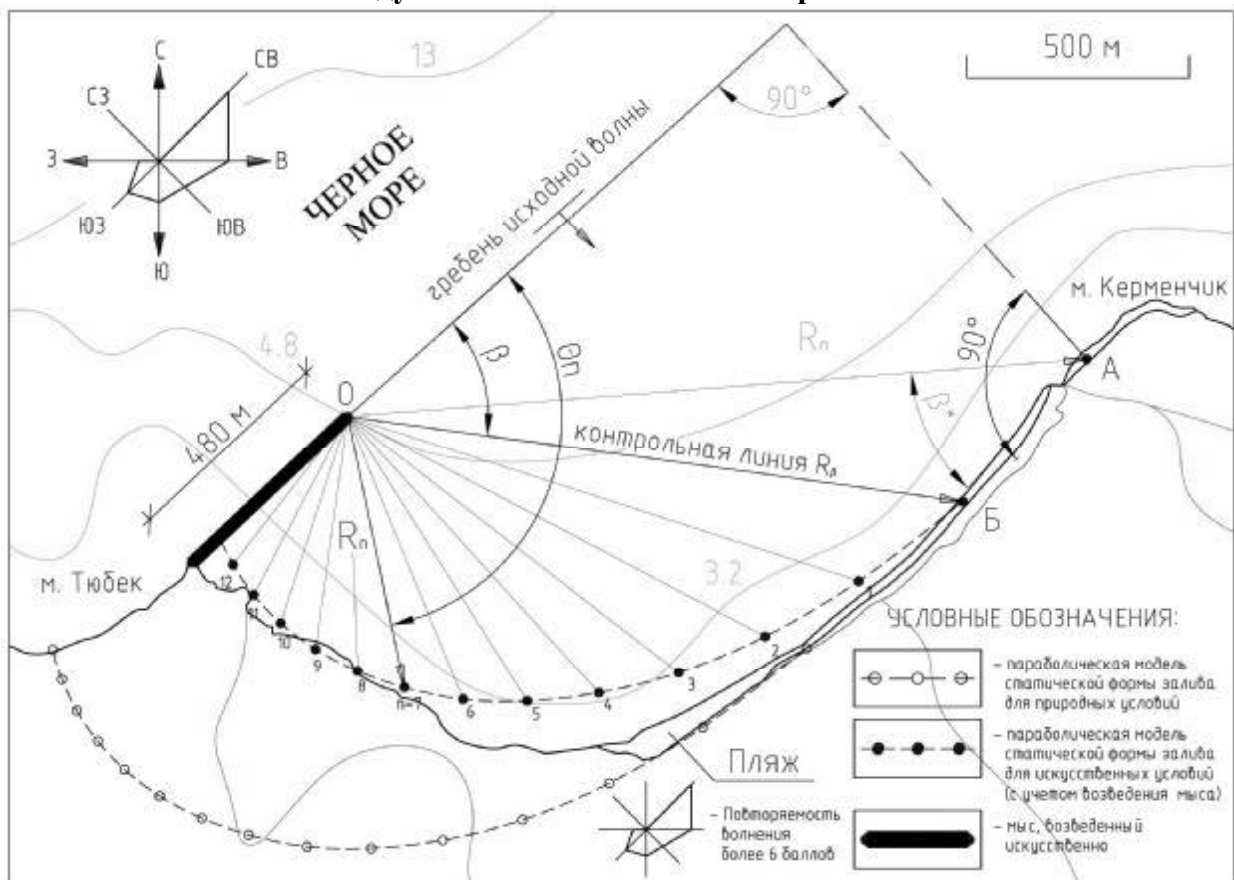


Рис. 6. Параболическая модель статической формы залива для бухты между мысом Тюбек и мысом Керменчик с учетом возведения искусственного мыса

Расчеты, производимые на основе вышеупомянутого уравнения вручную – процесс достаточно трудоемкий. Для повышения эффективности расчетов и облегчения работы, данное эмпирическое уравнение было преобразовано в ПО MERVAU и SMC. Изначально программа MERVAU была разработана как образовательная в бразильском университете Вали-ду-Итажаи. При использовании программы MERVAU в данных о высоте волн нет необходимости. Также параболическое уравнение формы залива было интегрировано в SMS (система берегового проектирования), пакет программ, разработанный в Институте Океанических и прибрежных исследований (GIOS) в университете Кантабрии для министерства охраны окружающей среды Испании в период с 1996 по 2003 г. Эта модель включает в себя расчет волн, течений и вдольбереговых наносов, а также изменения профиля берега. В сравнении с MERVAU, программа SMC более совершенна, так как при моделировании берега залива в статическом равновесии необходимо произвести расчеты волн и течений.

### Выводы

1. Береговая линия вдоль границы между сушей и морем может быть либо ровной, либо изогнутой и разделенной мысами, естественными или искусственными. Берега изогнутой формы, по сравнению с их ровными аналогами, эстетически привлекательны и очень устойчивы, при условии достижения статического равновесия. Берег, находящийся в динамическом равновесии, может быть трансформирован в статически равновесный берег путем сооружения искусственного мыса у крайней точки существующего мыса.

2. С помощью параболического уравнения формы залива можно существенно улучшить устойчивость существующего берега залива, и соответственно, разработать статическую форму залива для рекреации и берегозащиты.

3. В результате проделанной работы, с использованием параболического уравнения формы залива, была выполнена проверка стабильности берега бухты, расположенной на Западном побережье Крыма (на примере бухты между мысом Тюбек и мысом Керменчик в с. Угловое Бахчисарайского района). Данный участок выбран как наиболее благоприятный, с точки зрения экономики природопользования, для развития рекреационного потенциала. Установлено что рассматриваемая бухта находится в динамическом равновесии и ее устойчивость будет обеспечена только при соответствующем уровне наносов. В случае недостатка наносов, берег бухты будет уменьшаться до границ, определенных статическим равновесием. Автором статьи рекомендуется установка искусственного мыса длиной 480 м для преобразования рассматриваемой бухты в состояние статического равновесия.

4. Использование модели параболической формы залива является очень выгодным, так как позволяет осуществлять контроль стабильности берега залива в естественных и искусственных условиях, производить необходимые расчеты для укрепления и предотвращения эрозии береговой линии, а также разрабатывать проекты для берегозащиты и рекреации.

5. Данный метод может быть успешно применен в различных вариациях для берегоукрепления и рекреации Автономной республики Крым, что позволит осуществить идею с эффективным и рациональным природопользованием на Западном побережье Крыма.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Постановление Кабинета Министров Украины от 21.07.2006 №1001. «Государственной целевой программы развития территории Западного Крыма на 2012–2020 гг.».
2. Silvester R., Hsu Z.R.C. – Coastal Stabilization: innovative concepts. New Jersey, 1993. - pp. 107-160.
3. W. E. Yasso, *J. Geology* 73, 702 (1965).
4. L. J. Moreno and N. C. Kraus, *Proc. Coast. Sediments '99* (1999), p. 860.
5. J. R.-C. Hsu and C. Evans, *Proc. Inst. Civil Eng., Part 2*, 87, 557 (1989).

6. USACE, *Coastal Engineering Manual*, US Army Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, Washington DC (2002).
7. M. Gonzalez and R. Medina, *Coast. Eng.* 43, 209 (2001).
8. M. Gonzalez and R. Medina, *Proc. 29th Int. Conf. Coast. Eng.*, ASCE (2002), p. 844.
9. Смирнова Т.Г., Правдивец Ю.П., Смирнов Г.Н. Берегозащитные сооружения – М.: изд-во АСВ, 2002. – 303 стр. С иллюстрациями, - С. 211 – 213.

**УДК 621.1.016.7:502**

**Стрежекуров Э.Е., Долгополов И.С.,**

*Днепропетровский государственный технический университет*

**Ковалев А.А., Редькин В.М.**

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

## **ТОПОЛОГОЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕТОД В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ЭКОЛОГИИ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ИНДУСТРИИ**

Рассмотрены особенности системного топологоэксергетического метода для решения задач энергосбережения и экологии. Впервые разработан топологоэксергетический метод анализа энергосбережения физико-технологических систем (ФТС). Показаны возможности разрабатываемого топологоэксергетического метода для анализа термодинамической эффективности физико-технологических систем на примере анализа теплообменника, который может быть использован в теплоэнергетике.

**Эксергетический метод, топологический метод, топологоэксергетический метод, эксергия, эксергетический коэффициент полезного действия, физико-технологическая система, эксергодиссипативная функция, пластинчатый теплообменник, рекуператор, энергосбережение, экология**

### **ВВЕДЕНИЕ**

Важнейшими характеристиками современных технологий являются энергосбережение и их экологическая безопасность. В связи с ростом потребления энергии в промышленности и на транспорте окружающая среда загрязняется продуктами сгорания топлива. Из-за низкой термодинамической эффективности части используемых технологий и оборудования расходы энергии в них значительны, что ведет к существенному загрязнению окружающей среды.

### **АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ**

В настоящее время основным методом исследования сложных объектов в науке, технике и экономике становится системный подход [1].

В анализе поведения сложных систем обобщающей концепцией является энергия, а универсальным инструментом изучения, разработки и совершенствования технических систем является эксергетический принцип [2].

Преимущества, которые свойственны эксергетическому и топологическому методам, целесообразно объединить в виде топологоэксергетического подхода к анализу указанных систем [3-5].

### **ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ**

Цель работы. Представить новый, топологоэксергетический метод исследования энергосбережения физико-технологических систем (ФТС).

Задачи. С помощью разрабатываемого топологоэксергетического подхода анализировались различные физико-технологические системы: рекуперативный пластинчатый теплообменник, труба-сушилка и др. в стационарных режимах работы.

#### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

На основании теоретических разработок путем объединения преимуществ эксергетического и топологического (диаграмм связи) методов создан новый топологоэксергетический метод, позволяющий получать структуру расходования эксергии в ФТС и влиять на конструктивно-технологические параметры системы для достижения требуемой термодинамической эффективности. В основе топологоэксергетического метода лежит принцип системного подхода к анализу отдельного процесса технологии как сложной кибернетической системы, так называемой физико-технологической системы (ФТС). Под физико-технологической системой (ФТС) понимаем объект, обладающий сложным внутренним строением, большим числом составных частей и элементов (самостоятельных и условно неделимых единиц), взаимодействующих между собой и окружающей средой, между которыми существует материальная, энергетическая и информационная связь, при этом взаимодействующие среды распределены в пространстве и переменны во времени, где связи и элементы могут иметь источники (стоки).

Создаваемый системный подход к решению задач энергосбережения ФТС на базе топологоэксергетического метода анализа и синтеза энергосберегающих технологий и оборудования включает следующие стратегические принципы:

- формулирование цели исследования, постановку задачи по реализации этой цели и определение критерия эффективности поставленной задачи;
- четкое задание ограничений при решении задач по достижению заданных целей;
- проведение качественного анализа эксергетической структур ФТС;
- синтез функционального оператора физико-технологической системы на основе топологоэксергетического метода описания ФТС;
- идентификация и проверка адекватности операторов ФТС.

Разработана обобщенная эксергодиссипативная функция физико-технологической системы, являющаяся основой топологоэксергетического метода [4].

Универсальную картину энергопотребления в физико-технологической системе может дать эксергетический баланс:

$$\sum E^{ex} = \sum E^{exx} + (\sum D + \boxtimes E), \quad (1)$$

где  $\sum E^{ex}$  - сумма эксергий потоков материалов, тепловой, электрической, химической и механической энергии на входе в ФТС;

$\sum E^{exx}$  - сумма эксергий потоков материалов, тепловой, электрической, химической и механической энергии на выходе из ФТС;

$\sum D$  - сумма эксергетических потерь;

$\boxtimes E$  - составляющая баланса, характеризующая способность системы к накоплению эксергии.

В правой части (1) в скобках находятся составляющие, характеризующие потребление эксергии системой. Причем  $\sum D$  - сумма эксергетических потерь, характеризующих диссипативные свойства системы, которые в дальнейшем рассматриваются как эксергодиссипативная функция. Величину  $\boxtimes E = \sum \boxtimes C + \sum \boxtimes E$ , отражающую способность ФТС накапливать эксергию, можно представить как сумму емкостной  $\sum \boxtimes C$  и инерционной  $\sum \boxtimes E$  форм в зависимости от видов энергии, используемых в ФТС. Особенности определения составляющих различных форм накопления эксергии  $\sum \boxtimes C$  и  $\sum \boxtimes E$  будут предметом отдельного рассмотрения.

Для систем любой сложности исходными категориями при описании физико-технологических процессов являются диссипативные потоки и движущие силы.

Опишем в общем виде диссипацию эксергии в физико-технологической системе, используя аппарат термодинамики необратимых неравновесных процессов.

Все виды энергозатрат в физико-технологической (инженерной) системе можно охарактеризовать эксергодиссипативной функцией  $\sum D$ :

$$\sum D = d_{\text{вс}} + d_{\text{в}}, \quad (2)$$

где  $d_{\text{вс}}$  - обобщенная внешняя эксергодиссипативная функция, отражающая диссипацию эксергии системы при ее взаимодействии с окружающей средой;

$d_{\text{в}}$  - обобщенная эксергодиссипативная функция физико-технологической системы, отражающая диссипацию эксергии внутри этой системы.

В [4] показано, что для ФТС обобщенная эксергодиссипативная функция  $\sum D^*$  может быть представлена как сумма произведений термодинамических сил  $e_{\text{э}i}$  на термодинамические потоки  $f_{ii}$

$$\sum D = \sum_1^{n=i} e_{\text{э}i} f_{ii}, \quad (3)$$

где  $e_{\text{э}i}$  отражает  $i$ -ое обобщенное усилие эксергетических потерь.

Такое представление обобщенной эксергодиссипативной функции дает возможность отразить структуру потребления эксергии в ФТС в виде топологэксергетической структуры связи.

Решение задачи топологэксергетическим методом предусматривает выполнение следующих этапов:

- 1) разработку кодовой топологэксергетической диаграммы;
- 2) построение топологэксергетической структуры связи;
- 3) получение системы уравнений на основе топологэксергетической структуры связи;
- 4) решение системных уравнений.

С помощью разрабатываемого топологэксергетического подхода анализировались различные физико-технологические системы: рекуперативный пластинчатый теплообменник, труба-сушилка и др. в стационарных режимах работы.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Рассмотрим результаты топологэксергетического анализа пластинчатого теплообменника [5].

Для оценки термодинамической эффективности теплообменника воспользуемся эксергетическим КПД  $\boxtimes$  - «отношением выходной эксергетической мощности потока нагреваемого воздуха к подведенной в теплообменник эксергетической мощности потоков:

$$\boxtimes = \frac{e_6 m_6 100}{(e_3 - e_{10}) m_3 + e_1 m_1}, \quad (4)$$

где  $e_1, e_6$  - удельные эксергии нагреваемого воздуха на входе и выходе теплообменника, Дж/кг;

$e_3, e_{10}$  - удельные эксергии горячего теплоносителя (продуктов сгорания) на входе и выходе рекуператора, Дж/кг;

$m_1, m_6$  - массовые расходы нагреваемого воздуха на входе и выходе теплообменника, кг/с;  $m_3$  - массовый расход горячего теплоносителя на входе и выходе теплообменника, кг/с.

Все величины, кроме  $e_6$ , в уравнении (3) заданы.

Аналитическое выражение для  $e_6$  получаем решением системных уравнений.

$$\begin{aligned}
e_6 &= e_1 + (e_3 - e_{10}) \cdot \frac{c_6(T_{cm2} - T_{cp}^6)}{c_2(T_{cp}^{zop} - T_{cm1})} - \\
m_3 \cdot \frac{c_6(T_{cm2} - T_{cp}^6)}{c_2(T_{cp}^{zop} - T_{cm1})} &\times \left[ R_{гТ} \ln \left( 1 + \frac{\Delta P_2}{P_{z.m}} \right) + R_{\boxtimes}^3 \right] - \\
&- \frac{\lambda}{s} (T_{cm2} - T_{cp}^6) \cdot (T_{cm1} - T_{cm2}) \cdot R_{\boxtimes}^3 - \\
&- m_1 \left[ R_6 \ln \left( 1 + \frac{\Delta P_6}{P_6''} \right) + R_{\boxtimes}^3 \right]
\end{aligned} \tag{5}$$

где  $c_6$  – средняя удельная массовая теплоемкость воздуха, Дж/(кг·град);

$c_2$  – средняя удельная массовая теплоемкость продуктов сгорания, Дж/(кг·град);

$T_{cp}^6, T_{cp}^6$  – температуры нагреваемого воздуха на входе и выходе теплообменника, К;

$T_1^{zop}, T_2^{zop}$  – температуры горячего теплоносителя на входе и выходе теплообменника,

К

$T_{cm1}$  – температура наружной стенки рекуператора, К;

$T_{cm2}$  – температура внутренней стенки рекуператора, К.

$R_{гТ}$  – удельная газовая постоянная горячего теплоносителя (продуктов сгорания), Дж/(кг·град);

$\Delta P_2$  – суммарные гидравлические потери по тракту горячего теплоносителя, Па;

$P_{z.m}$  – давление горячего теплоносителя на выходе из тракта, Па;

$R_6$  – удельная газовая постоянная воздуха, Дж/(кг·град);

$\Delta P_6$  – гидравлическое сопротивление воздушного тракта рекуператора, Па;

$P_6$  – давление воздуха на выходе из рекуператора, Па;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала стенки теплообменника, Вт/(м·град);

$s$  – толщина стенки теплообменника, м;

$R_{\boxtimes}^3$  – диссипатор, отражающий потерю эксергии при необратимом теплообмене между горячим теплоносителем и наружной стенкой рекуператора;

$R_{\boxtimes}^3$  – диссипатор, отражающий потерю эксергии при необратимом теплообмене в стенке рекуператора;

$R_{\boxtimes}^3$  – диссипатор, отражающий потерю эксергии при необратимом теплообмене между внутренней стенкой теплообменника и нагреваемым воздухом.

$R_{\boxtimes}^3 = f(K, T)_z$ , Дж/(кг<sup>2</sup>·с);

$R_{\boxtimes}^3 = f(K, T)_6$ , Дж/(кг<sup>2</sup>·с);

$R_{\boxtimes}^3 = f(K, T)_{cm}$ , см<sup>2</sup>/ (кг·град);

$K$  – конструктивные параметры теплообменника;

$T$  – технологические параметры теплообменника;

$z$  – тракт горячего теплоносителя;

$6$  – тракт нагреваемого воздуха;

Уравнение (5) показывает, что топологоэксергетический метод дает возможность дать детальную оценку влияния конструктивно-технологических параметров рекуператора на величину удельной эксергии нагреваемого воздуха в теплообменнике. При этом аналитически отражено влияние на термодинамическую эффективность теплообменника всех составляющих потерь эксергии, связанных с необратимостью при преодолении гидравлических сопротивлений трактов теплоносителей и теплообмена при конечной разности температур как на горячей, так и на холодной стороне

теплообменника, так и в теплообменнике в целом. Эта информация особенно важна при проектировании теплообменных аппаратов.

Повышение термодинамической эффективности теплообменников, работающих в качестве утилизаторов теплоты продуктов сгорания, позволяет улучшить их энергетические, экономические и экологические показатели.

#### **Выводы**

Разрабатываемый топологоэксергетический метод анализа энергосбережения физико-технологических систем позволяет решать задачи повышения термодинамической эффективности физико-технологических систем и улучшения их экологических показателей.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Кафаров В.В., Дорохов И.Н. Системный анализ процессов химической технологии. Основы стратегии. – М.: Наука, 1976.- 500 с.
2. Бродянский В.М., Фратшер В., Михалец К., Эксергетический метод и его приложения. – М.: Энергоатомиздат, 1988 – 288с.
3. Долгополов И.С., Тучин В.Т. Обобщенная эксергодиссипативная функция как основа топологоэксергетического подхода анализа физико-технологических систем. *Металлургическая теплотехника. Сборник научных трудов Национальной металлургической академии Украины.* - Днепропетровск: НМетАУ, т.5, 2002. - С. 67-71.
4. Братуга Э.Г., Долгополов И.С., Тучин В.Т. Топологоэксергетический подход к оценке энергозатрат в физико-технологических системах. // *Інтегровані технології та енергозбереження*, 2003. - №4. - С. 20-27
5. Долгополов И.С. Пластинчатый теплообменник для подогрева воздуха// *Промышленная энергетика* №7. 2000. - С.32-34

**УДК 656.13 (477.75)**

**Тарасенко В.С., д.г.-м.н. профессор**

*«Экология и мир», г. Симферополь*

**Муровская А.С., аспирант**

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства, г. Симферополь*

### **СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПРИМОРСКИХ ГОРОДОВ (НА ПРИМЕРЕ Г. ФЕОДОСИЯ)**

В работе рассмотрен системный подход к оценке экологического состояния урбанизированной территории г. Феодосия. Рассмотрена методика расчета уровня экологической безопасности территории с помощью балансовой модели экосистемы города. Установлены причины низкого качества отдельных компонентов окружающей природной среды города и предложены пути их улучшения.

**урбанизированная территория города, системный подход, функциональное зонирование, экологическая безопасность, Феодосия**

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Урбанизированная территория города – это специфическая экосистема, со своеобразной структурой и составом компонентов, где формируется новый природно-техногенный комплекс. Производственные, транспортные и инженерные сооружения, входящие в состав урбанизированной территории, оказывают своей деятельностью

негативное воздействие на окружающую природную среду (ОПС), связанную с чрезмерным накоплением в атмосферном воздухе различных загрязняющих веществ (ЗВ), что впоследствии приводит к ухудшению качества среды пригодной для жизни [1].

Развитие и обеспечение экологической безопасности урбанизированной территории города определяет дополнительные требования к единой стратегии регулирования процесса городского развития и определения границ перспективного использования территории, регламентируемая законами динамического равновесия, в целях сохранения ОПС. Условием выполнения этих требований, является комплексная экологическая оценка и мониторинг исследуемой городской территории.

Определение степени антропогенного и техногенного воздействия передвижных и стационарных источников загрязнения урбозкосистемы позволяет сформулировать ряд рекомендаций для сохранения природного своеобразия и качества окружающей среды.

#### **АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ**

В бывшем СССР работы с целью экологической оценки и мониторинга территорий городов получили распространение в 70 - 80 годы XX столетия. Данные работы носили локальный характер, констатировали экологическое состояние регионов, городов на данный момент времени и использовались для перспективного планирования и хозяйственного освоения территорий, размещения новых промышленных объектов, разработки мероприятий по охране окружающей среды. Экологические проблемы городов и населенных пунктов освещены в различных аспектах многими исследователями [2-8]. В 70 - 80 годы большое количество работ посвящено безопасному использованию застроенных территорий и их комплексному картированию [3-5, 9-10]. В 90 годы, в связи со становлением геоэкологии (Е.В. Гирусов, Ю.Г. Марков, Г.А. Голодковская, Н.Ф. Реймерс, Ю.Е. Саег, В.Н. Островский, Е.А. Яковлев, А.В. Лущик, Г.Н. Дублянская, И.В. Попов, Ф.В. Котлов, М.А. Глазовская, Г.О. Белявский, В.М. Шестопапов, И.Б. Абрамов и др.), был выполнен ряд крупных методических разработок и обобщений по геоэкологическому картированию промышленно-городских агломераций (ПГА) и промышленных районов.

В 1993-1994 гг. в Крымском институте природоохранного и курортного строительства проводились исследования по разработке методики комплексного экологического картирования и районирования ПГА по степени экологической устойчивости [11], по разработке методики комплексной оценки и картирования ПГА по величине антропогенной нагрузки [12], в результате которых были выявлены факторы, определяющие устойчивость почв, поверхностную и подземную гидросферу, верхнюю часть литосферы, а также критерии экологической устойчивости составляющих ОПС при воздействии как природных, так и антропогенных факторов. Разработаны принципы районирования ПГА по степени экологической устойчивости с учетом антропогенной нагрузки.

#### **ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ**

Целью данной работы является оценка современного экологического состояния урбанизированной территории города Феодосия с использованием системного подхода определению уровня экологической безопасности городской экосистемы.

При функционировании промышленных предприятий, топливосжигающих установок, объектов транспортного комплекса, происходит загрязнение атмосферного воздуха различными загрязняющими веществами, которые, поступая в почву и техногенные отложения, мигрируют с ливневыми стоками в акваторию водных объектов. Концентрация загрязняющих веществ в ливневом стоке зависит от интенсивности выпадения осадков, продолжительности периода сухой погоды, частоты уборки территорий и магистралей, массы выбросов ЗВ от различных объектов.

На территории города в процессе хозяйственной и рекреационной деятельности возникли зоны потенциального экологического риска: промышленные, коммунально-складские и другие территории разнопрофильных предприятий, занимающих более 30% площади города, не имеющих необходимых санитарно-защитных зон. В условиях исторически сложившейся

застройки города некоторые промышленные предприятия оказались расположенными в жилых кварталах, а также соседствуют с рекреационными территориями.

Для реализации поставленных задач, автором были выявлены функциональные зоны по видам застройки и использования городской территории; определено пространственное распределение ЗВ от стационарных и передвижных источников в почвах и техногенных отложениях и миграция их в прибрежную зону, что в дальнейшем легло в основу расчета уровня экологической безопасности городской экосистемы и формулировки рекомендаций по снижению антропогенной нагрузки на ОПС.

#### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для выявления пространственной картины размещения очагов загрязнения урбанизированной территории города использовался метод геохимического картирования. Обследовались почвы и техногенные отложения, которые рассматривались как источник информации о состоянии окружающей среды исследуемой территории в целом. Методическим документом при проведении нестандартных геоэкологических исследований урбанизированных территорий являлись «Временные методические рекомендации по проведению геолого-экологических исследований при геолого-разведочных работах (для условий Украины)» [13].

Отбор почв, грунтов, техногенных отложений проводился по площади выделенных участков с шагом опробования 1-50 м в зависимости от изменения ситуации. С целью анализа качества морской воды в зоне купания были отобраны и проанализированы пробы воды из ливневого стока и воды из реки Байбуга, поступающих непосредственно в залив, загрязняя его. Аналитические исследования отобранных проб проводились в аттестованных лабораториях Крымского отделения УГГРИи лаборатории Рескомприроды АРК.

Для функционального зонирования урбанизированной территории города и оценки уровня антропогенной нагрузки экосистемы использовалась методика [14]. Согласно данной методике рассчитывается коэффициент опасности, определяемый по формуле (1):

$$K_{оп} = \frac{T_i}{U_i}, \quad (1)$$

где:  $K_{оп}$  – коэффициент опасности экосистемы;

$T_i$  – экологическая техноемкость экосистемы, ( $i = 1$  – атмосфера,  $i = 2$  – литосфера,  $i = 3$  – гидросфера), у.т/год;

$U_i$  – техногенное воздействие на территорию города, определяется для каждой из среды загрязнения, у.т/год.

Экологическая техноемкость экосистемы является обобщенной характеристикой территории, отражающей самовосстановительный потенциал природной системы и количественно равная максимальной техногенной нагрузке, которую может выдержать и переносить в течение длительного времени совокупность всех экологических систем без нарушения их структурных и функциональных свойств, определяемая по формуле (2):

$$T_i = \sum_{n=1}^n E_i \cdot X_i \cdot \tau_i, \quad (2)$$

где:  $E_i$  – экологическая емкость компонентов ОПС (у.т/год), определяемая по формуле (3):

$$E_i = V_i \cdot C_i \cdot F_i, \quad (3)$$

где:  $V_i$  – экстенсивный параметр, соотносимый с площадью территории ( $\text{км}^2$ ) или объемом ( $\text{км}^3$ );

$C_i$  – содержание главных экологически значимых субстанций в данной среде ( $\text{т}/\text{км}^2$ ,  $\text{т}/\text{км}^3$ );

$F_i$  – скорость кратного обновления объема или массы среды ( $\text{год}^{-1}$ ).

$X_i$  – коэффициент вариации для естественных колебаний содержания основной субстанции в среде;

$\tau_i$  – коэффициент перевода массы в условные тонны (у.т/т).

В случае выполнения условия  $K_{оп} \leq 1$  окружающая природная среда является безопасной для жизнедеятельности. Превышение данного коэффициента свидетельствует о техногенном воздействии на экосистему города, что ведет к ее деградации.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

По видам застройки и использования городской территории выделены следующие функциональные зоны Феодосии[15]:

- курортно-рекреационная;
- курортно-селитебная;
- производственно-селитебная;
- производственная.

Функциональное зонирование г. Феодосия с обозначением действующих промышленных предприятий представлено на рис. 1.



Рис. 1. Карта-схема функционального зонирования г. Феодосия

Для выявления пространственной картины размещения очагов загрязнения функциональных зон территории города Феодосия необходимо определить коэффициент опасности экосистемы ( $K_{ОП}$ ) каждой из зон.

Автором, в рамках проводимых экологических исследований сотрудниками НАПКС территории г. Феодосия, в 2010 г. был проведен отбор проб почво-грунтов и техногенных отложений с целью выявления зон аномального геохимического загрязнения.

При проведении расчетов по формуле (1) для функциональных зон территории города Феодосия, были получены следующие значения  $K_{ОП}$ : курортно-рекреационная зона – 1,12; курортно-селитебная зона – 0,70; селитебная зона – 0,42; селитебно-промышленная зона – 1,70; промышленная зона – 2,40.

Анализ полученных результатов функционального зонирования территорий города позволил выделить зоны потенциального экологического риска, для которых были определены основные источники загрязнения:

- ливневые стоки, сбрасываемые в прибрежную зону Феодосийского залива;
- промышленные предприятия, расположенные в непосредственной близости от жилых кварталов;
- топливосжигающие установки (городские котельные);
- автомобильные трассы и объекты автотранспортного комплекса;
- железная дорога с сопутствующей инфраструктурой.

Автором было проведено детальное геохимическое обследование выделенных источников загрязнения и сформулированы основные рекомендации по снижению антропогенного и техногенного воздействия на ОПС города:

- строительство локальных очистных сооружений, с целью очистки сбрасываемых ливневых стоков с городской территории в прибрежную зону моря;
- внедрение современных эффективных технологий по очистке выбросов ЗВ в атмосферный воздух от стационарных источников загрязнения;
- пересмотр санитарно-защитных зон вокруг промышленных предприятий с целью недопущения увеличения предельнодопустимой концентрации ЗВ в атмосферном воздухе, что в итоге может неблагоприятно отразиться на здоровье жителей;
- провести совершенствование сети движения маршрутного транспорта, в том числе по критической пропускной способности дорог;
- перераспределить транспортные потоки: выделить однонаправленные потоки движения для легкового транспорта в центральной части города, выделить улицы для грузового и транзитного движения;
- вынос за городскую черту товарной железнодорожной станции «Айвазовская».

Реализация данных мероприятий позволит значительно улучшить качество ОПС урбанизированной территории города Феодосия и обеспечит формирование благоприятных условий для проживания населения.

### **Выводы**

Рассмотренный системный подход для определения уровня экологической безопасности экосистемы города позволяет производить оперативный анализ экологической безопасности урбанизированной территории города.

Исторически сложившиеся особенности городской планировки определяют уровни загрязнения территории. Средняя степень загрязнения характерна для курортно-селитебной и селитебной зон. Максимальной степенью загрязнения характеризуются курортно-рекреационная, селитебно-промышленная и промышленная – с размещением основных промышленных предприятий Феодосии (Феодосийский морской торговый порт, Феодосийское предприятие по обеспечению нефтепродуктами, завод «Стройдеталь»).

Внедрение предложенных рекомендаций по снижению антропогенной и техногенной нагрузки выделенных источников загрязнения позволит значительно улучшить качество ОПС, необходимой для проживания населения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стольберг Ф.В. Экология города: уч. [для студ. высш. уч. зав.] / Ф.В. Стольберг, В. Н. Ладыженский. – К.: Либра, 2000. – 464 с.
2. Разработка методики комплексной оценки и картирования ПГА по величине антропогенной нагрузки: Отчет о НИР / З.Д. Сапронова [и др.]; М-во образования и науки Украины, Науч.-произв. комплекс КИПКС. – № ДР 0195U026137. – Симферополь, 1996. – 101 с.
3. Израэль Ю.А. Экологический подход к оценке состояния и регулированию качества окружающей природной среды / Ю.А. Израэль, И.М. Назаров // Всесторонний анализ окружающей природной среды: Сб. науч. трудов. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – С. 101-103.
4. Голодковская Г.А. Вопросы и методика комплексного картирования городских территорий для прогноза изменений геологической среды / Г.А. Голодковская, Ю.О. Зеергофер, Э.А. Лихачева // Новые типы карт. Методы их создания. – 1984. – № 4. – С. 48-73.
5. Котлов Ф.В. Рекомендации по составлению крупномасштабных инженерно-геологических карт охраны и рационального использования среды для городов / Ф.В. Котлов, А.И. Скобкова. – М.: Стройиздат, 1984. – 80 с.
6. Методические рекомендации по разработке комплексных схем охраны окружающей среды городов. – Л.: ЛенНИИградостроительства, 1990. – 60 с.
7. Методические основы оценки техногенных изменений геологической среды городов / [Г.Л. Кофф, Т.Б. Минакова, В.Ф. Котлов и др.]. – М.: Наука, 1991. – 196 с.
8. Экологическое картирование на современном этапе: [сб. науч. трудов]. – Л.: 1991. – 160 с.
9. Разработка и апробация концепции определения предельной техногенной нагрузки на геологическую среду с учетом геодинамических факторов / [А.В. Лущик, Н.И. Швырло, А.Н. Гребнев и др.]. – Симферополь: УкрГИМР, 1994. – 72 с.
10. Рекомендации по усовершенствованию инженерно-геологических изысканий для промышленного и гражданского строительства в связи с охраной и улучшением геологической среды. – М.: Стройиздат, 1981. – 165 с.
11. Разработка методики комплексной оценки и картирования промышленно-городских агломераций по величине антропогенной нагрузки: Отчет о НИР / Г.Н. Дублянская [и др.]; М-во образования и науки Украины, Науч.-произв. комплекс КИПКС. – № ДР 0192U017573. – Симферополь, 1997. – 104 с.
- 12.12. Обеспечение надежности реконструируемых территорий и сооружений в условиях недостатка исходной информации: Отчет о НИР / З.Д. Сапронова [и др.]; М-во образования и науки Украины, Науч.-произв. комплекс КАПКС. – № ДР 0102U005493. – Симферополь, 2003. – 124 с.
13. Володин Д.Ф. Временные методические рекомендации по проведению геоэкологических исследований (для условий Украины) / Д.Ф. Володин, Е.А. Яковлев, В.И. Почтаренко и др. – К.: Укргеология, 1990. – 88 с.
14. Акимова Т.А. Экология природа-человек-техника. / Т.А. Акимова, А.П. Кузьмин, В.В. Хаскин / Под ред. А.П. Кузьмина. – М.: ЮНИТИ, 2001. – 318 с.
15. Муровская А.С. Городская планировка и ее воздействие на экологическое состояние города (на примере г. Феодосия): материалы XIX международной научно-практической конференции (г. Щелкино, АРК, 6-10 июня 2011 г) / З.Д. Сапронова, Г.Э. Садыкова, С.П. Муровский, Т.А. Иваненко, А.С. Муровская, Е.П. Карнаух. – Харьков: УкрГНТЦ «Энергосталь», 2011. – С. 280-287.

**УДК 696.2(075.8)**

**Боровский Б.И., Баранова Г.Н.**

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

## **ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА НИЗКОГО И СРЕДНЕГО ДАВЛЕНИЯ В НАСЕЛЁННОМ ПУНКТЕ СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ**

Показано, что выполнение полиэтиленового газопровода со средним давлением обеспечивает наименьшие затраты и позволяет сэкономить 32,1% средств по сравнению со стальным газопроводом среднего давления.

**распределительный газопровод, низкое и среднее 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 распределительный газопровод жилого массива, с низким или средним давлением, какие принимать трубы, стальные или полиэтиленовые.

### **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], которые установили, что распределительные газопроводы, от которых отходят дворовые газопроводы, определяются по давлению на основании технико-экономических расчётов. Полиэтиленовым трубам соответствует меньшая цена и лучшие эксплуатационные качества. В Европе полиэтиленовые трубопроводы составляют 95% всех трубопроводов. Япония приняла закон, требующий замены стальных трубопроводов полиэтиленовыми. В Москве первый полиэтиленовый газопровод был построен в 1961 году, а массовое внедрение полиэтиленовых труб в газоснабжение началось в конце 80-х—в начале 90-х годов прошлого века. 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 низкого давления по сравнению со стальным газопроводом.

### **Цель и постановка задач**

Целью является сравнение эффективности использования низкого или среднего давления газа в сельском распределительном газопроводе. Задачи состоят в проведении проектных проработок газоснабжения реального села с низким и средним давлением газа при использовании стальных или полиэтиленовых труб.

### **МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ**

Методика исследования заключается в проектной проработке газификации села с распределительным газопроводом в вариантах низкого и среднего давления газа, со стальными и полиэтиленовыми трубами.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

В качестве сельского населённого пункта выбрано село с площадью 143,5 га и населением 1280 чел., проживающим в 385 домах.

На рис. 1 и 2 приведен распределительный газопровод низкого и среднего давления, выполненный из стальных и полиэтиленовых труб, там же указаны рассчитанные значения диаметров труб (в скобках - для полиэтиленовых труб).

Ветки газопровода низкого давления приняты с постоянными диаметрами, что снижает материалоёмкость газопровода и номенклатуру труб в сравнении с ветками переменных диаметров [7].

Полиэтиленовые газопроводы с давлением до 0,6 МПа допускаются на территории посёлков и сёл [1].

Общая длина газопровода составляет 7 км, общий часовой расход газа-791 м<sup>3</sup>/час.

При расчёте распределительного газопровода низкого давления в соответствии с [3] принималось давление на выходе из сетевого газорегуляторного пункта (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 160 кПа абс. Минимальный проходной диаметр газопровода в сельских условиях 40 мм. В табл. 1,2 приведена стоимость труб и их прокладки для газопроводов низкого давления. Затраты на прокладку труб определялись по [8] при установленном коэффициенте пересчёта 26,6 грн./руб.

**Таблица 1**  
**Стоимость труб и стоимость их прокладки для стального газопровода низкого давления**

$d_n \times s$ мм х мм	219 х 6	140х4,5	108х4	89 х 3	76 х 3	70 х 3	45 х 3
Длина, м	306	95	3426	960	1450	610	150
Стоимость 1 м трубы, грн.	154,2	117,8	81,5	57,2	49,8	48,7	29,0
Стоимость трубы, тыс. грн.	47,2	11,2	279,2	54,9	72,2	29,7	4,4
Стоимость прокладки 1 м трубы, грн.	319,2	186,2	146,3	119,7	93,1	87,8	53,2
Стоимость прокладки трубы, тыс. грн.	97,7	17,7	501,2	114,9	135,0	53,5	8,0
Всего	144,9	29,9	780,4	169,8	207,2	83,2	12,4

Стоимость стального распределительного газопровода низкого давления с учётом стоимости сетевого ГРП (60 тыс. грн.) и установки катодной защиты (6 тыс. грн.) составит 1493,8 тыс. грн.

**Таблица 2**  
**Стоимость труб и стоимость их прокладки для полиэтиленового газопровода низкого давления**

$d_n \times s$ мм х мм	200х11,4	180х10,3	110х6,3	90х5,2	75х4,3	50х2,9
Длина, м	306	95	4386	770	1290	150
Стоимость 1 м, грн.	261,1	212,5	79,7	57,5	37,4	17,0
Стоимость трубы, тыс. грн.	79,9	20,2	349,6	44,3	48,2	2,6
Стоимость прокладки 1 м трубы, грн.	239,4	226,1	106,4	79,8	66,5	39,9
Стоимость прокладки трубы, тыс. грн.	73,2	21,5	466,7	61,4	85,8	6,0
Всего	153,1	41,7	816,3	105,7	134,0	8,6

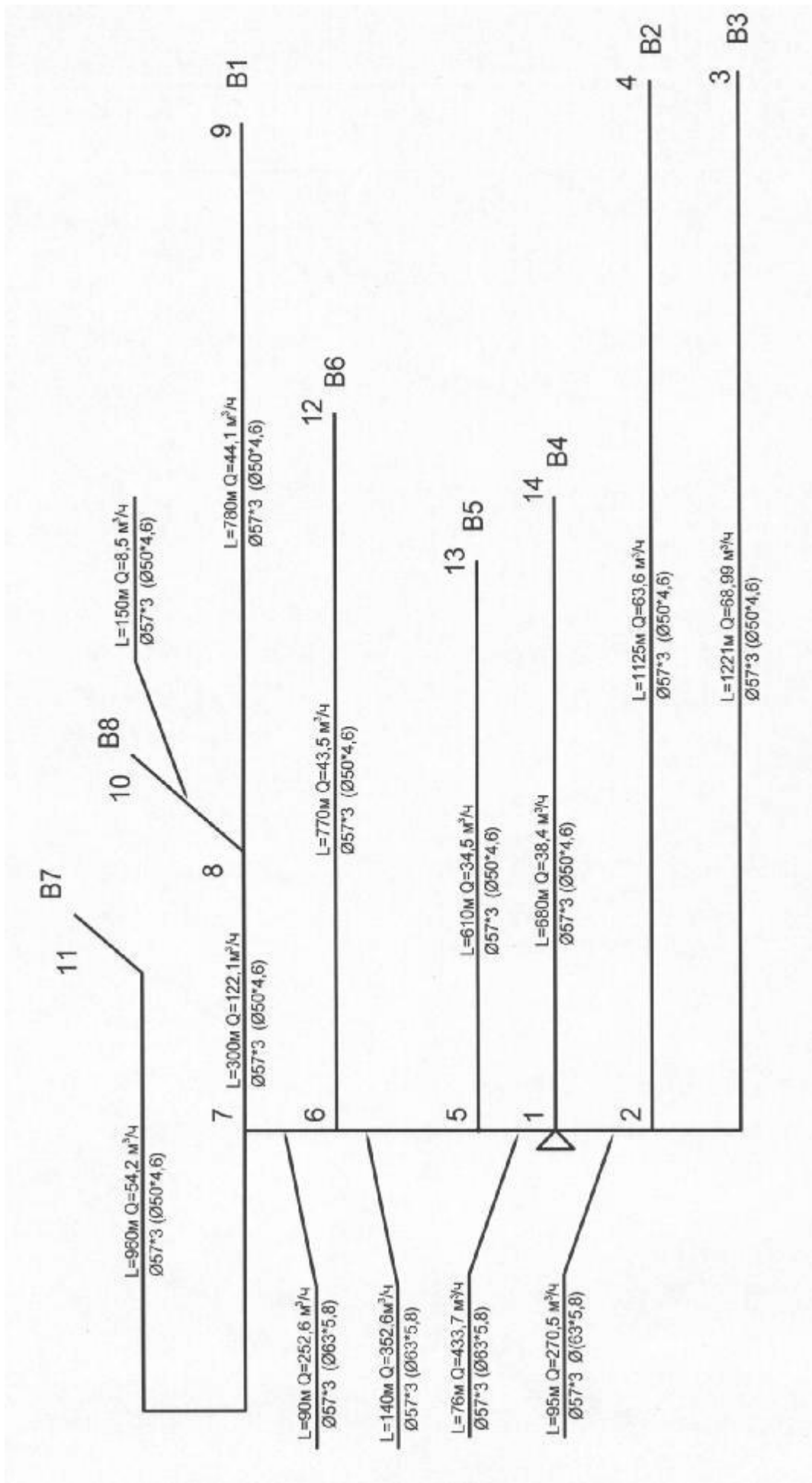


Рис. 2. Распределительный газопровод среднего давления

Из табл. 1 и 2 следует, что при низком давлении стальной и полиэтиленовый газопроводы по номенклатуре диаметров труб близки. Это свидетельствует о малом влиянии пониженного гидравлического сопротивления полиэтиленовых труб при заданных потерях давления на ветках газопровода. Однако материалоемкость полиэтиленовых труб оказались меньше, чем стальных в 3,8 раз.

Стоимость полиэтиленового распределительного газопровода низкого давления с учётом стоимости сетевого ГРП составляет 1319,4 тыс. грн., что ниже стоимости стального газопровода на 11,7%.

По газовому оборудованию газопровод низкого давления существенно отличается от газопровода среднего давления. Газопровод низкого давления оборудуется только сетевым ГРП, понижающим давление со среднего до низкого. В случае газопровода среднего 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. Поэтому стоимость всех ШРП составит 462 тыс. грн. Влияния среднего давления газа приведены в табл. 3.

**Таблица 3**

**Стоимость стального и полиэтиленового газопроводов среднего давления**

Газопровод	Стальной		Полиэтиленовый	
	$d_n \times s$ мм x мм			
Длина, м	57x3	7000	63x5,8	50x4,6
Стоимость 1 м, грн.		33,0	42,9	27,0
Стоимость трубы, тыс. грн.		231	17,2	178,2
Стоимость прокладки 1 м трубы, грн.		98,4	53,2	39,9
Стоимость прокладки трубы, тыс. грн.		688,8	21,3	263,3
Стоимость регуляторных пунктов, тыс. грн.		462,0	462,0	
Стоимость катодной защиты, тыс. грн.		6,0	----	
Всего		1387,8	942,0	

Табл. 3 показывает, что и при среднем давлении стальной и полиэтиленовый газопроводы по номенклатуре диаметров труб близки. Однако материалоемкость полиэтиленовых труб меньше, чем стальных в 5,5 раз. Стоимость полиэтиленового распределительного газопровода среднего давления составляет 942,0 тыс. грн., при стоимости стального газопровода 1387,8 тыс. грн., это меньше на 32,1%. Этот выигрыш от использования полиэтиленовых труб близок к выигрышу, полученному в случае Светогорского полиэтиленового газопровода среднего давления (26,8%).

Сравнение затрат газопроводов низкого и среднего давления приведено в табл. 4.

**Таблица 4**

**Сводные затраты распределительного газопровода низкого и среднего давления (тыс. грн.)**

Величина	Стальной газопровод		Полиэтиленовый газопровод	
	Низкое давление	Среднее давление	Низкое давление	Среднее давление
Стоимость	1493,8	1387,8	1319,4	942,0

Из табл. 4 следует, что стоимость газопровода среднего давления ниже, чем газопровода низкого давления на 7,1% (стальной газопровод) на 28,6%

(полиэтиленовый газопровод). Меньшая стоимость газопровода среднего давления объясняется меньшими диаметрами труб и, следовательно, меньшей материалоемкостью: материалоемкость стальных труб при среднем давлении меньше в 1,97 раз, а в случае полиэтиленовых труб – меньше в 2,83 раза.

Исполнитель распределительного газопровода может быть заинтересован в применении среднего давления ещё и по следующей причине: ШРП на домах становятся индивидуальной собственностью домовладельцев и они ШРП оплачивают как и газовые, водяные и электрические счётчики, и исполнитель газопровода получает дополнительный доход, в данном случае 462 тыс. грн., что составляет от всех затрат около 30% (стальной газопровод) и около 50% (полиэтиленовый газопровод).

Эксплуатационную прочность газопровода оценим по запасу толщины стенки трубы как отношение фактической толщины трубы  $s$  к минимально необходимой толщине  $\delta$  при действующем давлении  $P$ :

$$K = \frac{s}{\delta} \quad (1)$$

Значение  $\delta$  найдём из соотношения (2)

$$\delta = \frac{PD}{2R}, \quad (2)$$

где  $D$  – внутренний диаметр трубы;  $R$  – величина, равная 85% предела текучести материала.

Тогда получим

$$K = \frac{2sR}{PD} \quad (3)$$

При одном и том же материале труб отношение запасов толщины при низком ( $n$ ) и среднем ( $c$ ) давлении запишется в виде

$$\frac{K_n}{K_c} = \frac{s_n P_c D_c}{s_c P_n D_n} \quad (4)$$

Результаты расчётов приведены в табл. 5.

**Таблица 5**

**Отношение запасов толщины трубы при низком и среднем давлении**

Параметр	Стальной газопровод			Полиэтиленовый газопровод		
	Низкое давление	Среднее давление	$\frac{K_n}{K_c}$	Низкое давление	Среднее давление	$\frac{K_n}{K_c}$
$P$ , кПа	3,0	300	58,4	3,0	300	57,3
$D$ , мм	131	51		159,4	51,4	
$S$ , мм	4,5	3		10,3	5,8	

Из табл. 5 видно, что запас прочности по толщине стенки трубы при низком давлении значительно больше, чем при среднем давлении. Однако сами запасы прочности  $K_c$  и  $K_n$  достаточно велики и превышают 20.

Таким образом проведенные расчёты затрат показали преимущества полиэтиленового распределительного газопровода среднего давления.

При этом продолжительность монтажа полиэтиленового газопровода меньше на 30%, а затрат труда меньше на 34%, чем стального газопровода [6], и полиэтиленовый газопровод практически не нуждается в обслуживании.

**Выводы**

Показано, что выполнение газопровода среднего давления с полиэтиленовыми трубами требует наименьших затрат и даёт выигрыш в 32,1% по сравнению со стальными трубами. В случае низкого давления этот выигрыш составляет всего 11,7%. Отсюда

следует, что перспектива в газоснабжении заключается в использовании полиэтиленовых труб при среднем давлении газа.

Выполнение полиэтиленового газопровода со средним давлением позволяет сэкономить 28,6% средств по сравнению с газопроводом низкого давления, а при стальном газопроводе эта экономия составляет 7,1%.

Запас прочности по толщине стенки трубы при низком давлении значительно больше, чем при среднем давлении. Однако сами запасы прочности по толщине стенки при среднем и низком давлении достаточно велики и превышают 20.

Исполнитель распределительного газопровода может быть заинтересован в применении среднего давления по той причине, что ШРП на домах становятся индивидуальной собственностью домовладельцев и они ШРП оплачивают как и газовые, водяные и электрические счётчики, а исполнитель газопровода получает дополнительный доход, составляющий около 30% (стальной газопровод) и около 50% (полиэтиленовый газопровод).

#### 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. Техничко–економічна оцінка використання поліетиленових труб при проектуванні газової мережі в сільській місцевості / Боровський Б.І., Атрощенко С.Ю.// Стrojительство и техногенная безопасность. -- Симферополь: НАПКС. -2012. – Вып.43. - С.111- 115.
7. Возможность выполнения веток тупиковых газопроводов низкого давления с постоянным диаметром / Боровський Б.І., Лапина Е.А. // Стrojительство 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.
- 9.

**УДК 697**

**Перминов И.А.**

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

#### **ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕРМОРЕГУЛЯТОРОВ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОПОРЦИОНАЛЬНОГО ЭЖЕКЦИОННОГО ТЕРМОРЕГУЛЯТОРА**

Рассмотрены недостатки современных пропорциональных регуляторов. Рассмотрены преимущества применения эжекционного регулирования. Приведены результаты аналитических исследований процессов регулирования при скачкообразном изменении возмущающего воздействия с изучением изменения показателей качества регулирования.

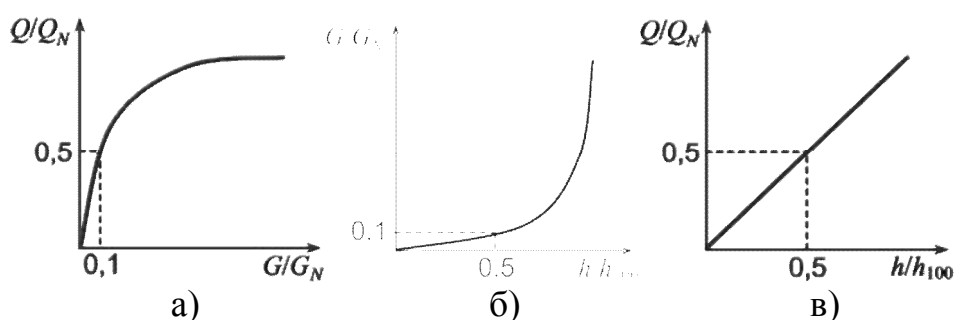
**Терморегулятор, регулирующий клапан, пропорциональный регулятор, показатели качества регулирования, эжекционный терморегулятор.**

## ВВЕДЕНИЕ

Регулированию параметров теплоносителя систем отопления отведен большой раздел автоматизации систем теплогазоснабжения и вентиляции. Для достижения максимального эффекта энергосбережения в системах отопления необходимо применение энергоэффективного оборудования. Выбор терморегуляторов и обеспечение на стадии проектирования системы оптимальных условий для их эффективной работы экономят в процессе эксплуатации здания 15...25% тепловой энергии [1]. Максимальный энергосберегающий эффект возникает при корректном выборе типа регулирования регулирующих клапанов. Актуальным вопросом является анализ процессов регулирования.

## АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Стабильное управление теплообменным прибором получают при линейной зависимости его теплового потока от хода штока регулирующего клапана. С этой целью рассматривают идеальную совместную работу теплообменного прибора и регулирующего клапана. Ее суть заключается в том, клапана должна быть зеркальным отображением характеристики теплообменного прибора. Для этого необходимо обеспечить 10 % увеличение относительного расхода  $G/G_N$  на клапане при относительном подъеме штока  $h/h_{100}$  на 50 %. Тогда относительный рост теплового потока  $Q/Q_N$  составит 50 % при открывании клапана  $h/h_{100}$  на 50 % (рис. 1.1.), т. е. достигнуто линейное регулирование [2].



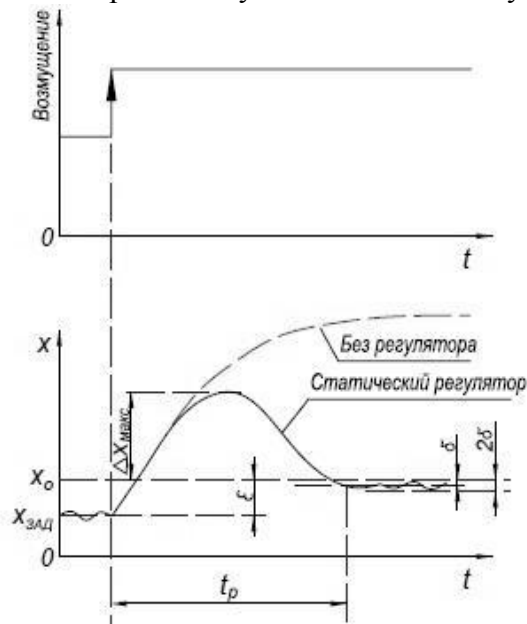
**Рис. 1.1. Регулирование теплообменного прибора: а – характеристика теплообменного прибора; б – расходная характеристика регулирующего клапана; в – идеальная характеристика регулирования теплообменного прибора [2]**

Рассмотренное управление теплообменным прибором является идеализированным, к которому следует стремиться. Особенно важно это при использовании регуляторов теплового потока (температуры) прямого действия, поскольку между датчиком температуры и положением штока клапана установлена жесткая связь [1]. Важным это является и для регуляторов непрямого действия. В обоих вариантах улучшается реакция регулирующего клапана на изменение температуры, что повышает в итоге тепловой комфорт в помещении и экономит энергоресурсы.

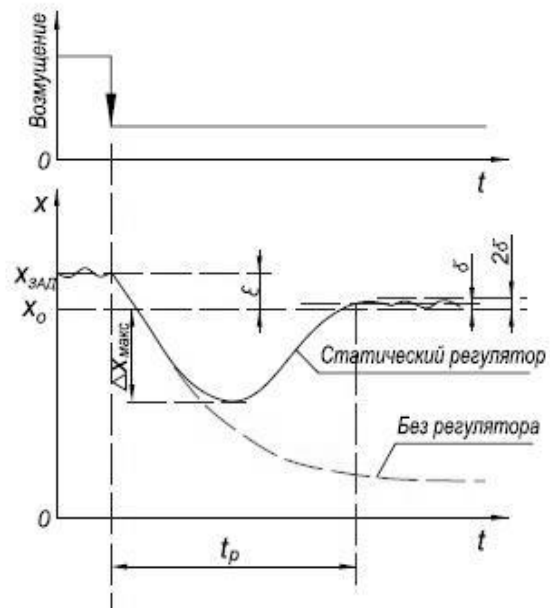
Процесс регулирования начинается с момента внесения возмущения в объект регулирования и заканчивается по достижении нового установившегося состояния системы автоматизированного регулирования (САР), либо по возвращению САР к прежнему значению заданного регулируемого параметра. Данный процесс перехода от одного установившегося состояния САР к другому называют переходным процессом и характеризуют основными показателями качества регулирования: временем регулирования  $t_p$ ; динамической ошибкой  $\Delta X_{\max}$  (максимальное динамическое отклонение регулируемого параметра); установившейся ошибкой  $\varepsilon$  или точностью регулирования (разность между установившемся значением и заданным значением регулируемого параметра) [2].

Показатели качества регулирования показаны на рис. 1.2. на переходной характеристике для пропорционального регулятора (П-регулятора) по отношению к скачкообразному увеличению возмущающего воздействия.

Характер переходного процесса регулирования и показатели его качества при скачкообразном уменьшении возмущающего воздействия показаны на рис. 1.3. [2]

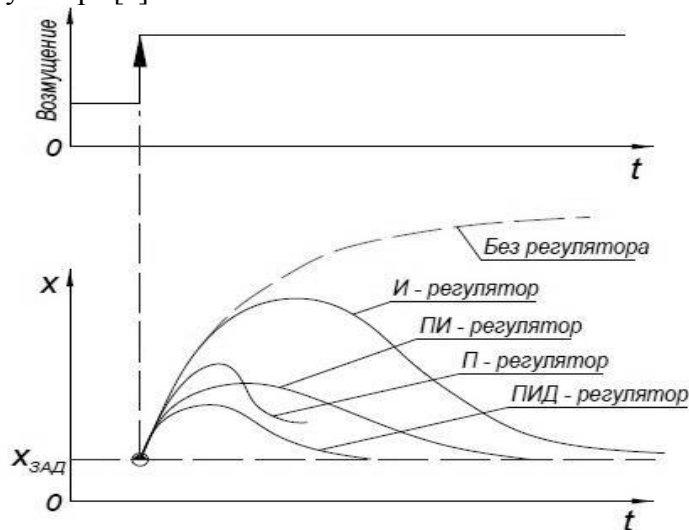


**Рис. 1.2. График переходного процесса регулирования при скачкообразном увеличении возмущающего воздействия с показателями качества регулирования** где  $t_p$  – время регулирования;  $\Delta X_{max}$  – динамическая ошибка;  $\epsilon$  – установившаяся ошибка или точность регулирования;  $\delta$  – порог нечувствительности регулятора;  $2\delta$  – зона нечувствительности регулятора.



**Рис. 1.3. График переходного процесса регулирования при скачкообразном уменьшении возмущающего воздействия с показателями качества регулирования**

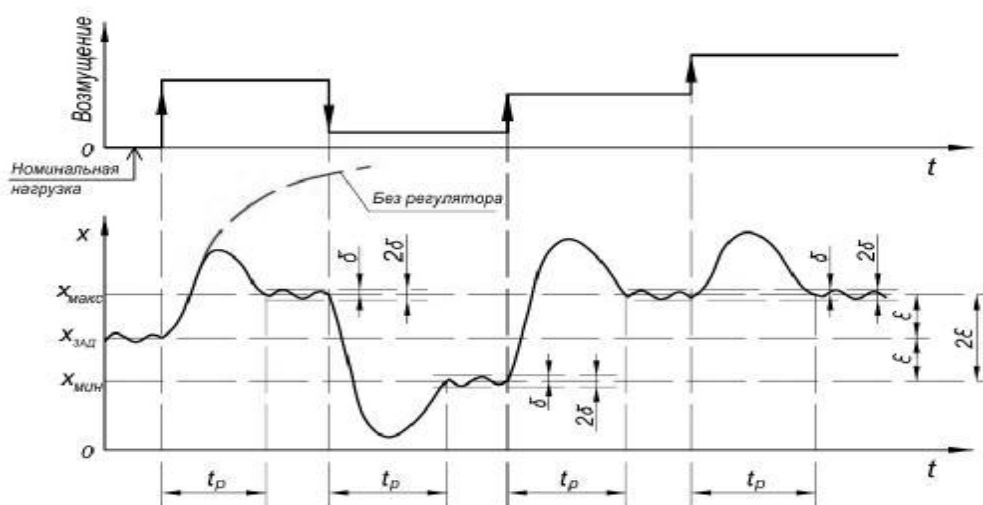
На рис. 1.4. для сравнения приведены характеристики пропорциональных, интегральных, пропорционально-интегральных и пропорционально-интегрально-дифференциальных (ПИД) регуляторов применительно к одному и тому же объекту регулирования. На входе регуляторов приложено скачкообразное изменение возмущающего воздействия. Показано, как изменяется регулируемый параметр в результате регулирующего воздействия разных регуляторов, а также при отсутствии регулятора [2].



**Рис. 1.4. Характеристики переходного процесса регулирования для различного типа регуляторов**

Наименьшее время регулирования  $t_p$  дает САР с П-регулятором. Но при этом значение динамической ошибки  $\Delta X_{\max}$  оказывается между значениями  $\Delta X_{\max}$  при интегральном и ПИД-регулировании.

Терморегуляторы (со встроенным регулятором температуры и датчиком) являются пропорциональными регуляторами. Пропорциональными, или статическими, называются такие регуляторы, у которых изменение положения рабочего органа (РО) пропорционально отклонению регулируемого параметра от его заданного значения. Преимуществом П-регулятора является его быстродействие (небольшое время регулирования  $t_p$ ) и высокая устойчивость процесса регулирования. Недостатком является наличие остаточного отклонения  $\varepsilon$  регулируемого параметра, что снижает точность регулирования. Остаточное отклонение может быть выше или ниже задаваемого параметра в зависимости от повышения или снижения возмущающего воздействия в объекте регулирования рис. 1.5.[2]



**Рис. 1.5. График процесса П-регулирования при скачкообразном изменении возмущающего воздействия с показателями качества регулирования**

где  $t_p$  – время регулирования;  $X_{\text{зад}}$  – задаваемое значение регулируемого параметра;  $X_{\text{макс}}$ ,  $X_{\text{мин}}$  – максимальное и минимальное значения отклонения регулируемого параметра;  $\varepsilon$  – установившаяся ошибка (остаточное отклонение, точность регулирования);  $2\varepsilon$  – зона неравномерности регулирования;  $\delta$  – порог нечувствительности регулятора;  $2\delta$  – зона нечувствительности регулятора.

При возникновении возмущающего воздействия изменяется регулируемый параметр. На отклонение параметра реагирует П-регулятор, создавая регулирующее воздействие. Но П-регулятором задаваемое значение  $X_{\text{зад}}$  не устанавливается, а устанавливается какое-либо из значений  $X_{\text{макс}}$  или  $X_{\text{мин}}$ , отличающееся от заданного значения  $X_{\text{зад}}$  на величину остаточного отклонения  $\pm\varepsilon$ . Зона между  $X_{\text{макс}}$  и  $X_{\text{мин}}$ , в которой П-регулятор не создает установившееся состояние САР, называется зоной неравномерности, величина которой составляет  $2\varepsilon$  [2]. Ввиду указанного недостатка, П-регулирование не применяется в конструировании электронных регуляторов. Регуляторы прямого действия реализуют в основном закон П-регулирования, поэтому регулируемый параметр всегда будет отличаться от заданного, за исключением единственного случая, когда нагрузка объекта регулирования является номинальной.

Чтобы достигнуть необходимой точности регулирования следует уменьшить зону неравномерности. Этого можно добиться только за счет высокого качества изготовления регулятора и регулирующего органа при эффективном использовании энергии регулируемой среды.

Актуальной задачей требующий рассмотрения является:

1. Не способность терморегуляторов с пропорциональным регулированием достигать задаваемого значения регулируемого параметра;

## 2. Уменьшение зоны неравномерности регулирования.

Решением этих задач может являться применение схемы эжекционного терморегулирования. Преимущества данного регулирования: возможен перепад температуры в приборе и в подающем трубопроводе; вследствие постоянного объемного потока возникает достаточная возможность регулирования; авторитет клапана почти равен 1; малое запаздывание, так как горячий теплоноситель присутствует постоянно; могут быть связаны различные температурные уровни.

### ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Цель работы – анализ процесса пропорционального регулирования при применении эжекционного терморегулятора.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

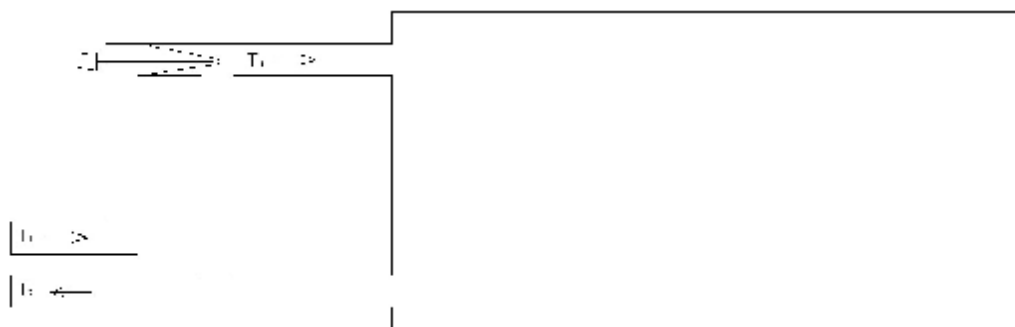


рис 1.6. Принципиальная схема эжекционного терморегулятора с радиатором.  
T1 – горячий (подача) теплоноситель, T2 – холодный (обратка) теплоноситель,  
T3 – смешанный теплоноситель.

В процессе работы системы отопления возникает эффект количественного саморегулирования. Механизм естественного регулирования представляет собой качественное регулирование, то есть при изменении температуры воды, самопроизвольно возникает количественные изменения – изменяется расход теплоносителя. При увеличении теплового потока между радиатором и воздухом в помещении будет увеличиваться циркуляционное давление, возникающее при эжекции обратного потока, что способствует более быстрому и плавному выходу регулируемого параметра на заданное значение. При отсутствии внешних возмущений (изменений температуры воздуха в помещении) в системе с эжекционным терморегулятором регулируемый параметр стремится к заданному значению, тем самым уменьшая зону неравномерности регулирования рис 1.7.

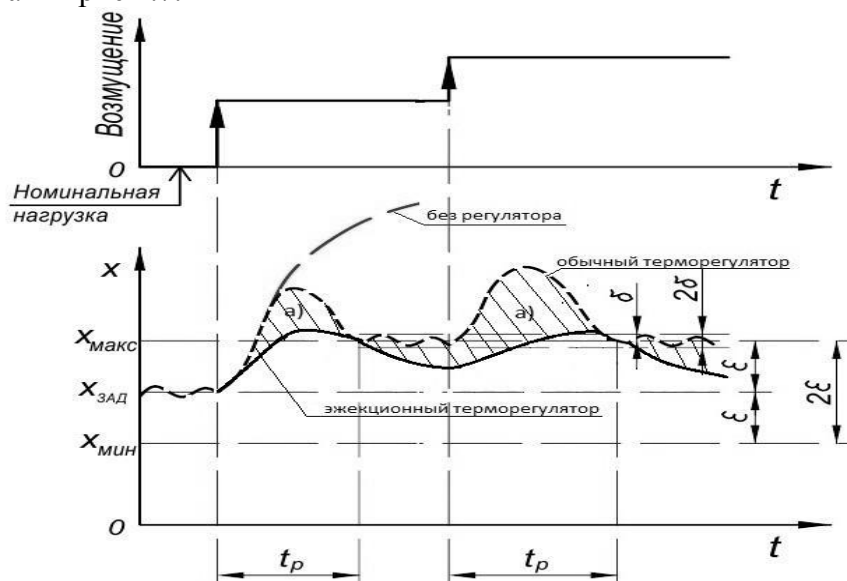


Рис. 1.7. График процесса П-регулирования без регулятора, с терморегулятором, с инжекционным терморегулятором.

Как видно из графика, применение эжекционного терморегулятора снижает величину максимального значения отклонения регулируемого параметра, а так же величину установившейся ошибки. Площадь области а) является графическим отображением энергосберегающего эффекта при использовании эжекционного терморегулятора.

### **ВЫВОДЫ**

В результате выполненных аналитических исследований изучен процесс саморегулирования, протекающий в системе отопления с применением эжекционного терморегулятора. Выявлен положительный эффект увеличения точности регулирования при использовании пропорционального регулятора.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Пырков В.В. Особенности современных систем водяного отопления / В.В. Пырков. – К.: П ДП «Такі справи», 2003. – 177 с.
2. Покотилев В.В. Регулирующие клапаны автоматизированных систем тепло- и холодоснабжения / В.В. Покотилев. – Вена.: фирма «HERZ Armaturen», 2010. – 176 с.
3. Сканава А.Н. Отопление: Учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению «Строительство» / А.Н. Сканава, Л.М. Махов. – М.: АВС, 2002. – 576 с.

## АННОТАЦИИ НА УКРАИНСКОМ ЯЗЫКЕ