

Министерство образования и науки Украины
Крымская академия природоохранного и курортного строительства

СТРОИТЕЛЬСТВО И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Сборник научных трудов
Выпуск 8

БУДІВНИЦТВО ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

Збірник наукових праць
Випуск 8

Зарегистрирован 27.04.2001 г. серия КВ № 5089 Государственным комитетом информационной политики, телевидения и радиовещания Украины.

Высшей Аттестационной Комиссией Украины включен в перечень научных диссертационных работ на соискание научных степеней доктора и кандидата наук (Постановление Президиума ВАК Украины от 11.10.2000 №1-03/8, перечень №6 - технические науки).

Симферополь
«Крымская академия природоохранного
и курортного строительства»
2003

УДК 69

Збірник наукових праць
«Будівництво та техногенна безпека»

Збірник включає статті науковців України та зарубіжжя, у яких висвітлені результати фундаментальних та прикладних наукових досліджень у галузі будівництва та техногенної безпеки.

Для наукових працівників, аспірантів та спеціалістів у галузі будівництва.

Редакційна колегія:

Ажермачов Г.А., канд. техн. наук, Боровський Б.І., докт. техн. наук, Бугаєвський Г.М. докт. фіз.-мат. наук, (зам. головного редактора), Глухов М.Д., докт. техн. наук, Дворецкий О.Т., докт. техн. наук, Ємельянов М.П., канд. техн. наук, Жигна В.В., канд. техн. наук, Куркчи У.М., докт. техн. наук, Лінченко Ю.П., канд. техн. наук, Морозов О.Д., канд. техн. наук, (зам. головного редактора), Панюков Е.Ф., докт. техн. наук, (головний редактор), Саломатін В.М., докт. геол.-мін. наук, Самусевич Л.В., (відповідальний секретар), Сараєв О.Д., канд. філос. наук, Тарасенко В.С., доктор геол.-мін. наук, Трофимцов Ю.А., канд. техн. наук, Федоркін С.І., докт. техн. наук, Шмигальський В.Н., докт. техн. наук

Затверджено до друку згідно протоколу засідання вченої ради КАПКБ № 4 від 27.11.2003 р.

Адреса редакції: 95006 м. Сімферополь, вул. Павленко, 5,
КАПКБ, корпус 2, к 410.

© Кримська академія
природоохоронного
та курортного будівництва,
2003

Сборник научных трудов
«Строительство и техногенная безопасность»

Сборник включает статьи ученых Украины и зарубежья, в которых освещены результаты фундаментальных и прикладных научных исследований в области строительства и техногенной безопасности.

Для научных работников, аспирантов и специалистов в области строительства.

Редакционная коллегия:

Ажермачев Г.А., канд. техн. наук, Боровский Б.И., докт. техн. наук, Бугаевский Г.Н. докт. физ.-мат. наук, (зам. главного редактора), Глухов Н.Д., докт. техн. наук, Дворецкий А.Т., докт. техн. наук, Емельянов М.П., канд. техн. наук, Жигна В.В., канд. техн. наук, Куркчи У.М., докт. техн. наук, Линченко Ю.П., канд. техн. наук, Морозов А.Д., канд. техн. наук, (зам. главного редактора), Панюков Э.Ф., докт. техн. наук, (главный редактор), Саломатин В.Н., докт. геол.-мин. наук, Самусевич Л.В., (ответственный секретарь), Сараев А.Д., канд. филос. наук, Тарасенко В.С., доктор геол.-мин. наук, Трофимцов Ю.А., канд. техн. наук, Федоркин С.И., докт. техн. наук, Шмигальский В.Н., докт. техн. наук

Утвержден к печати согласно протокола заседания ученого совета КАПКС № 4 от 27.11.2003 г.

Адрес редакции: 95006 г. Симферополь, ул. Павленко, 5,
КАПКС, корпус 2, к 410,

© Крымская академия
природоохранного
и курортного строительства,
2003

Оглавление

Ажермачёв Г. А., Минус Н. Г. О применении тонкостенных гнутых профилей в рамных каркасах сейсмостойких зданий	6
Бачинская Л.Г., Бачинская О.В. Особенности реконструкции 5-этажных жилых домов первого поколения массового типового строительства	10
Емельянов М.П., Богуцкий Ю.Г. Некоторые результаты оценки технического состояния каменных конструкций старинного здания	13
Жигна В.В., Емельянов М.П. К вопросу оценки сейсмостойкости и надежности старых зданий при реконструкции	16
Кириленко В.Ф. Статические испытания древесины на двустороннее двухплоскостное скалывание	20
Кириленко В.Ф., Мотина В.Г., Романенко В.А. Видоизмененное решение типа Файлона в задачах изгиба тавровых балок	23
Линченко Ю.П. Методические основы изучения автоматизированного проектирования и управления строительством	27
Линченко Ю.П., Васильев М.В. Анализ прочности каменной кладки по результатам расчета НДС на ПК ЛИРА при косом внецентренном сжатии	31
Осипов А.Ф., Акимов С. Ф. Исследование и обоснование рациональных методов реконструкции жилых зданий	37
Пермяков В.А., Ажермачев С.Г. Усталостная прочность сварных конструкций стальных морских платформ	41
Сафонов А.А. О дальнейшем совершенствовании жилищного строительства в Крыму	45
Трофимцов Ю.А. Колебания простенка при постоянной по модулю восстанавливающей силе	48
Узун І.О., Ковров А.В. Чисельні дослідження напружено-деформованого стану стержневих елементів	51
Раздел 2. Основания и фундаменты, механика и сейсмостойкость	53
Ажермачев Г.А. К вопросу применения теории предельной силы землетрясений на скальных породах для повышения сейсмостойкости зданий на слабых грунтах	53
Балашов А. В. Определение динамических характеристик по данным о движении отдельных точек колебательных систем	57
Бугаевский Г.Н. Уравнения равновесия движения среды и спектральный тензор деформации	61

Бугаевский Г.Н. Задачи детального изучения сейсмической опасности в зоне Керченского пролива	67
Левенстам М.В. Распределение напряжений в оползающем грунте по длине сваи, определение критического и предельного давления	70
Литвинова Э.В. Инструментальный анализ задачи восстановления входного сигнала	75
Мартынов Н.В. Классификация как средство компактного представления особенностей и возможностей систем и элементов сейсмозащиты	78
Нестеренко С.Д. Цифровой сейсмометрический канал с компенсационной системой регистрации	86

Раздел 3. Строительные материалы и изделия 88

Горячих М.В., Носатов В.Г., Шмигальский В.Н. Выбор рациональных баз снабжения предприятий железобетонных изделий компонентами бетона	88
Куркчи У.М., Меметова А.С. Комплексная переработка медьсодержащих биметаллических отходов анодным сульфидированием	91
Лавринев П.Г., Любомирский Н.В., Олейник О.Н. Опыт применения промотходов Крымского региона в производстве строительных материалов	94
Лавринев П.Г., Шепляков Ю.А., Свищ И.С., Гуйтур В.И. Пенобетон на основе отходов химических производств	97
Лукьянченко М.А. Технология получения известняковых строительных материалов на основе механоактивированного силикат-натриевого вяжущего	100
Любомирский Н.В., Лавринев П.Г. Оптимизация массы для расширяющей добавки на основе известняка-ракушечника и пиритных огарков	103

Раздел 4. Технология промышленного и гражданского строительства 109

Ковалев А.А., Морозов А.Д. Исследование энергетических характеристик пневмомеханической установки для сыпучих материалов	109
Куксин А.Н. Повышение эффективности пневмотранспортных установок	113
Морозов А.Д., Чередниченко И.А. Анализ работы обратных клапанов шнековых пневмотранспортных машин	117
Рутенко В.С. Триботехнический метод уменьшения энергоёмкости разработки грунта землеройно – транспортными машинами	120

Раздел 5. Техногенная безопасность 124

Азаренко Е.В., Блешенко О.В., Дивизинюк М.М., Шульга Т.Я. Предотвращение чрезвычайных ситуаций с водными транспортными средствами в Керченском проливе в период ледохода	124
--	-----

Бойчук С.Д., Синанов Э.Н., Максимчук Л.В., Мякишев В.А., Богуцкий П.Л. Опыт продления обеззараживающего действия хлора в условиях длительного транспортирования воды	129
Копачевский А.М., Гилева О.Н., Богуцкий П.Л., Валкина Е.М., Субботкин Л.Д., Зайцев В.А. Способ биохимического восстановления Cr^{6+} до Cr^{3+}	132
Кравчук И.В. Исследование возможности понижения уровня подземных вод в Мамайской каменоломне и предотвращение размыва дамбы оз. Сасык-Сиваш	134
Муровский С.П., Сапронова Т.А. Загрязнение геологической среды автомобильным транспортом и объектами его инфраструктуры	137
Мякишев В.А., Субботкин Л.Д., Богуцкий П.Л. Оптимизация технологии обеззараживания питьевой воды на водопроводах большой протяженности	141
Мякишев В.А., Копачевский А.М., Бойчук С.Д. Математическое моделирование и оптимизация технологии очистки поверхностных вод	145
Саломатин В.Н., Грабовой И.И., Горячих М.В., Шмигальский В.Н. Новое в технологии обучения	149
Шмигальский В.Н., Грабовой И.И. Экологические аспекты свойств и качества строительных материалов	151

Раздел 6. Водообеспечение и водоотведение, гидромелиорация, теплоснабжение и энергетика 155

Бекиров Э.А. Методы построения преобразователей энергии постоянного тока нетрадиционных источников в электрическую энергию переменного тока промышленной частоты с подключением в энергосистему	155
Бойчук С.Д., Синанов Э.Н., Мякишев В.А., Крымова Н.С., Копачевский А.М. Пути сокращения расходов воды на собственные нужды городских водоочистных сооружений	161
Боровский Б.И., Захаров Р.Ю. Методика расчета рабочих характеристик центробежного насоса с обточенным рабочим колесом	165
Дворецкий А.Т. Геометрическая модель отражённой солнечной энергии	168
Козлов О.М., Сокут Л.Д., Бекиров Э.А., Бонев Д.Б. Установки многофункциональных компьютеризированных источников автономного электроснабжения для учебных и научных целей	171
Козлов О.М., Сокут Л.Д., Муровский С.П. Установка автономного теплоснабжения на базе жидкостного солнечного коллектора для учебных и научных целей	178
Стоянов В.У., Бакулина М.В., Малыгин Н.Д. Источник гарантированного энергоснабжения защитных сооружений с применением инновационных термоэлектрических технологий	182

Г. А. Ажермачёв, Н. Г. Минус

Крымская академия природоохранного и курортного строительства

О применении тонкостенных гнутых профилей в рамных каркасах сейсмостойких зданий

Рассматриваются особенности применения тонкостенных гнутых профилей в рамных каркасах сейсмостойких зданий. Показаны пути снижения концентрации напряжений в элементах рамных узлов каркасов
сейсмостойкость, рамные узлы, элементы, напряжения, концентраторы напряжений

Примерно одна треть территории Украины находится в зоне, где могут происходить землетрясения силой 6 – 9 баллов. На этой территории находятся большие города и промышленные комплексы.

Землетрясения, которые наблюдали в последние десятилетия, показали, что к вопросам сейсмостойкости зданий и сооружений должно быть повышенное внимание. В противном случае неизбежны большие материальные потери и человеческие жертвы.

Специалисты давно ищут пути снижения сейсмических сил на здания и сооружения, но радикальные «рецепты» отсутствуют и в настоящее время.

Одним из путей повышения сейсмостойкости зданий и сооружений является снижение их массы. Этого можно достичь применением эффективных материалов, которые обладают высокими физико-механическими свойствами. В наибольшей степени этим требованиям отвечает сталь. Этот материал обладает высокой прочностью, пластичностью и относительной легкостью. Однако, положительные качества этого материала могут быть сведены на нет при создании конструктивных решений.

Самое уязвимое место в каркасах зданий – это узлы соединения элементов (колонна с ригелем и т. д.), которые, как правило, выполняются на монтаже. Здесь многое зависит от квалификации специалиста, его опыта и понимания работы конструкций и отдельных элементов при экстремальных воздействиях.

Одним из путей снижения массы здания может быть более широкое применение гнутых тонкостенных элементов. Опыт их применения показывает, что они позволяют снизить массу сооружений при одновременном обеспечении заданной надёжности и долговечности. Такие элементы находят широкое применение как в от-

ветственных конструкциях, так и во второстепенных элементах.

В мировой строительной практике первое место по применению гнутых сварных профилей принадлежит США, а в Европе – Швеции.

В США широкое распространение получили полносборные малоэтажные здания с применением гнутых профилей полной заводской готовности. Это позволяет в 1.5 – 2 раза сократить сроки строительства. В настоящее время таким способом возводят 56 % зданий различного назначения с числом этажей до 5-ти. Это жилые, торговые, общественные и другие здания. Годовые капитальные вложения в этот вид строительства составляет 6.8 млрд. долл., расход стали – 4 млн. тонн [1].

Тонкостенные гнутые профили могут найти широкое применение и в каркасах сейсмостойких зданий высотой 2 – 5 этажей. Но применяя лёгкие металлические конструкции, мы имеем дело с другими типами профилей и не всегда могут быть использованы конструктивные решения, которые находят место в традиционных металлических конструкциях.

При циклических воздействиях типа сейсмических, особенно при высоких напряжениях в соединениях таких элементов, могут наблюдаться хрупкие разрушения из-за наличия высоких концентраторов напряжений в зоне сварных швов. Неравномерность распределения напряжений по ширине пояса ригеля, в зоне сварных швов рамного узла показана на рис. 1.

Влияние концентраторов напряжений в зоне сварных швов в рамных узлах можно уменьшить различными способами. В частности при помощи треугольных вставок – компенсаторов или уширения полок ригеля. Однако пики высоких местных напряжений остаются, что видно на эпюрах напряжений на рис. 2,3. При статичес-

Рис.1. Эпюра напряжений в сварном шве полки ригеля с колонной для данной расчётной модели

ком загрузке наличие концентраторов напряжений не так опасно, но в случае сейсмических воздействий могут наблюдаться малоцикловые хрупкие разрушения.

По нашему мнению расчётная модель рис. 4 позволяет до минимума снизить влияние концентраторов напряжений в сочетании с конструктивной простотой (существуют более эффективные способы уменьшения концентраторов напряжений, но это влечёт усложнение конструирования, например треугольные вставки вырезать по окружности, в этом случае будет наблюдаться более «мягкий» переход усилий с одного пояса на другой).

Рис.2. Эпюра напряжений в сварном шве полки ригеля с колонной для данной расчётной модели (с треугольными вставками – компенсаторами)

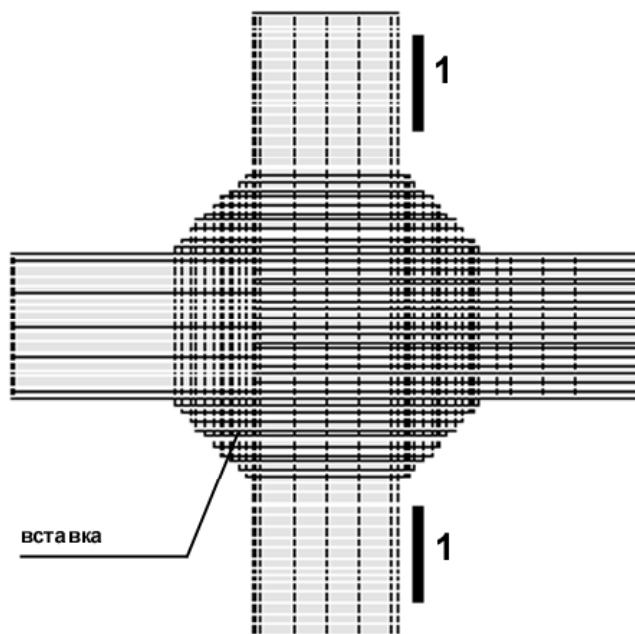
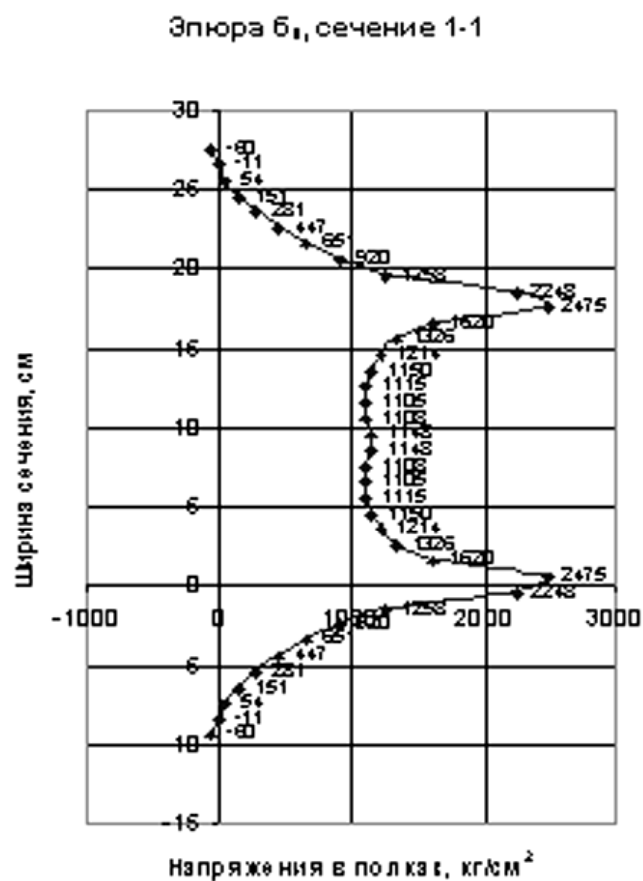


Рис.4. Эпюра напряжений в сварном шве полки ригеля с колонной при наличии вставки

Рис.3. Эпюра напряжений в сварном шве полки ригеля с колонной для данной расчётной модели (с уширенными полками)

В этом решении колонну изготавливают на один этаж, а ригель с колонной соединяют посредством узла – вставки, к которому также примыкает колонна, а ригель как бы проходит через колонну. При помощи тако-

го узла – вставки, которая изготавливается на заводе, мы полностью убираем монтажные сварные швы из максимально напряжённой зоны соединения пояса ригеля с колонной, а монтажный стык выносится в зону, где изгибающий момент значительно меньше. Примеры поэтажной разрезки колонны уже встречались в отечественной строительной практике [2,3].

Соединение ригеля с колонной осуществляют следующим образом. Берут 2 квадратных листа, обрезают углы, чтобы получился восьмиугольник (они будут продолжением поясов ригелей). Между листами вставляют часть колонны на высоту ригеля. К этой части колонны приваривают листы, которые будут выполнять функции стенки ригеля. Затем к такому узлу – вставке приваривают колонны и уже на строительной площадке монтируют ригели.

Не смотря на то, что пояса ригелей в месте стыковки с колонной не прерываются, в зоне приварки колонны к горизонтальным листам всё равно наблюдается неравномерность распределения напряжений по ширине пояса с высокой концентрацией у граней колонны.

Это объясняется тем, что в этой зоне затруднены поперечные деформации пояса ригеля при его удлинении. Наблюдается конструктивная анизотропия. Особенность определения напряжённо – деформированного состояния в зоне с высокими концентраторами напряжений заключается в том, что формулы сопротивления материалов не применимы, а классическая теория упругости, как правило, не даёт корректных решений. Напряжённо – деформированное состояние пояса ригеля в зоне прикрепления к нему колонны сварными швами может быть получено с использованием метода хрупких лаковых покрытий, методом муаров и т. п. Но они дадут лишь качественную картину распределения напряжений. Получить количественную характеристику возможно используя тензодатчики (экспериментальный метод) или программный комплекс «ЛИРА 8.2» (теоретический метод).

Использование тензодатчиков для получения напряжённо – деформированного состояния в зоне сварного монтажного шва

даёт достаточно грубую картину [2,4], так как размеры тензодатчиков $10 \div 20$ мм, что значительно больше тех размеров конечных элементов, которые можно заложить в программу. А из рис. 1 видно, что пики местных напряжений наблюдаются именно в зоне 2 – 3 см и их трудно зафиксировать тензометрией. Поэтому в этих местах размер конечных элементов следует принимать меньших размеров (0,5-1мм).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. «Acier – Stahl – Steel», 1984, №2, p. 41 – 44, 50 – 55, 59 – 63.
2. И. Н. Лебедич, Г. Д. Макаров. Конструктивные особенности и исследование действительной работы узлов с прорезными планками для рамных каркасов многоэтажных зданий // Изв. ВУЗов, 1979, №6, с.14 – 20.
3. И. Н. Лебедич, Л. М. Бальзак, Б. А. Левитский, В. Т. Васильченко. Новое решение многоэтажных рамных каркасов. // Монтажные и специальные работы в строительстве, 1981, №8, с.13 – 15.
4. Ажермачёв Г. А., Остриков Г. М. Экспериментальные исследования узловых соединений рамных каркасов. // Изв. ВУЗов, 1972, №9, с. 2 – 6.

Л.Г. Бачинская

Киевский национальный университет строительства и архитектуры

О.В. Бачинская

Украинский научно-исследовательский институт теории и истории архитектуры

Особенности реконструкции 5-этажных жилых домов первого поколения массового типового строительства

Рассматривается специфика местоположения и функционирования жилой застройки первого поколения в условиях современного крупнейшего города, приведен анализ приемов реконструкции и предложения по модернизации жилых зданий с использованием государственных средств и средств потребителей

5-этажная типовая застройка первого поколения массового строительства не только знаменовала переход от методов индивидуального проектирования и строительства жилья с излишней детализацией фасадов к методу закрытой типизации на основе упрощения структуры, облика и конструктивной системы, но и сыграла важную роль в формировании городских пространств. В Киеве жилые массивы из домов первых массовых серий как бы обняли исторический правобережный центр со всех сторон, создав кольцо между ним и окраинами, представляющими многоэтажные жилые комплексы последних этапов возведения. В украинских городах областного и районного значения типовые дома примыкают к историческому центру, формируют его фон, застройку главных улиц города или представляют вкрапления в застройку более раннюю или более позднюю. Типовая застройка из так называемых «хрущевок» занимает значительную территорию, непосредственно связанную с центром и составляет 10-15% имеющегося на сегодня городского жилого фонда (это 70 млн. кв.м общей площади, то есть примерно 2,2 млн. квартир или 37 тыс. 5-этажных 60-квартирных домов, из них в Киеве было построено 6,0 млн. кв.м [1]).

Местоположение застройки в городе, ее объем, проблемы утилизации, возникающие при попытке ее уничтожить, заставляют внимательнее присмотреться к имеющемуся наследию. Общеизвестны недостатки типовой застройки: это — неимоверное число двухкомнатных квартир с малой их площадью, площадью помещений, неудобство планировки, однообразие планировочных типов квартир, силуэта, примитивизм приемов градостроительной композиции, безликость плоских фасадов, узкий корпус (10 м). Но 5-этажная застройка, запроектированная при норме 3 часа непрерывной инсоляции, создает камерные по

сравнению с более поздними жилыми массивами дворовые пространства, в которых высота зданий не подавляет находящихся во дворе и визуально не беспокоит пребывающих на балконе. Функции двора, пространственно связанного с квартирой (обеспечить удобное пребывание детей и пожилых на открытом воздухе и присмотр за ними, игры детей, хозяйственные работы, занятия спортом), дают возможность широко его использовать, жизнь во дворе продолжает жизнедеятельность семьи в квартире, двор стал неотъемлемой частью квартиры. Все это минимизировано, нарушено в многоэтажной застройке последних этапов. Чем выше застройка, тем больше изоляция, противопоставление квартиры дому и, тем более, двору.

Учитывая особенности местоположения типовой застройки первого поколения на генплане городов, ее близость к их историческому центру, особенности ее использования, контингент проживающих в этих районах (в основном малоимущие), их населенность, а также сравнительно невысокую стоимость работ по модернизации по сравнению с новым строительством, Государственной программой Украины «Реконструкция жилых домов первых массовых серий» [1] (где авторы статьи были авторами трех разделов по архитектурно-планировочным и градостроительным аспектам реконструкции и приложения с экспериментальными разработками) рекомендуется проводить комплексную реконструкцию территорий жилых массивов.

Накопленный в Украине опыт и предложения по реконструкции 5-этажных жилых домов первого поколения массового строительства можно свести к следующим направлениям:

- 1) надстройка мансард (без отселения жильцов) и утепление фасадов с одновременным улучшени-

ем внешнего облика зданий, при этом планировка квартир не меняется (опыт г.Харькова);

- 2) надстройка мансард (с отселением жильцов), улучшение отделки фасада без изменения планировки квартир, которые следует заселять малосемейными и одиночками (Ю.Г.Репин, Киев-ЗНИИЭП);
- 3) надстройка мансард с одновременной перепланировкой квартир типовых этажей (построенный объект в Киеве по ул.Жуковского);
- 4) надстройка методом «фламинго» в металлическом (М.М.Жербин, КНУСА) или железо-бетонном (Укрремжилпроект) каркасе 5-10 этажей с сохранением или изменением планировочной структуры в надстроенной части (с отселением жильцов) с изменением или без изменения планировки квартир в существующей части;
- 5) надстройка с одновременной пристройкой-уширением корпуса;
- 6) разнообразные пристройки на небольшую до 1,5 м или большую до 10 м ширину – фрагментами или на всю длину корпуса дома с надстройкой мансарды или с утеплением за счет устройства двускатной кровли;
- 7) комплексный подход к реконструкции территории с учетом ограниченных сроков физической и моральной амортизации и этапов проведения работ по реконструкции, созданию новых фрагментов и устранению старых (А.Шляхов), с учетом обеспечения перемещения населения в отселенческие дома, которые одновременно уплотняют застройку.

Современное состояние 5-этажных «хрущевок» в Киеве отражает стихийный процесс, при котором застройка постепенно приобретает вид трущоб: на первых этажах (а иногда и вторых-третьих – на колоннах) пристраивают блоки вдоль фасада и в торце дома, с помощью которых увеличивают площадь помещений при сохранении планировки квартиры или организуют ее перепланировку, даже изменяя комнатность, в средних – происходит изменение статуса летних приквартирных помещений и балконов, образуются остекленные веранды или эркеры, если разбирают подоконную часть. Пристройки к квартирам ближе к верху устраивают на балках или рамах, горизонтально вмонтированных в уровень пола. В квартирах верхних этажей используют чердачное пространство. Жильцы таким образом самостоятельно пытаются увеличить площадь квартиры и приспособить ее планировку к индивидуальным потребностям семьи.

Пристройками и перепланировкой обустраивают квартиры и для общественных функций, на первых и вторых этажах делают офисные помещения, помещения фирм, проектные мастерские, аптеки, магазины. В первом этаже организуют вход с улицы и яркими контрастными деталями архитектуры привлекают посетителей. На вторых – для привлечения посетителей и размещения рекламной информации используют поверхность окон. Чем меньше контакт с заказчиками, тем выше может быть расположен офис. Тем самым нарушается целостность структуры домов, расположенных ближе к центру и главным улицам, обособленная семейная жизнь в доме пересекается с деловой активностью.

Развивая пространство квартиры и решая проблемы соответствия конструктивной системы жилого дома с потребностями пространственной организации офиса, хозяева площади вмешиваются в конструктивный остов здания. Часто непонимание работы конструкций, выполнение работ неспециалистами приводит к ухудшению несущей способности стен и опасности их разрушения. Модной тенденцией стало преобразование проема в несущей стене в арку, при этом уничтожается арматура перемычки над окном. Последствия такого вандализма уже известны по событиям в Черновцах, Киеве и других городах. В пристройках используются любые подручные материалы, в том числе и дерево-глиняные конструкции, и архитектурные формы в соответствии с непросвещенным разумением хозяев. Жилая застройка в достаточно быстром темпе превращается в «шанхай». Это стихийное разрушение функциональной целостности жилого дома и его конструктивной системы необходимо приостановить, изучив нужды населения, и направить по другому, организованному руслу.

Учитывая все происходящее, то есть неуправляемый процесс преобразования жилого фонда, который практически обезображивает среду, и потребность в реконструкции жилища, можно наметить два основных пути:

1. Комплексная реконструкция территорий и застройки, а также выборочная реконструкция отдельных зданий с учетом требований среды, проводимая государственными органами, при которой предусматривается строительство отселенческих домов.
2. Модернизация жилища без отселения с учетом индивидуальных требований населения и за счет средств жильцов.

Первое направление должно включать: анализ состава населения по социально-демографическим признакам и его (населения) спроса; анализ специфики функционирования данной территории, которая сложилась во времени; структуры ее по градостроительным ситуациям (примагистральная территория, жилая или пешеходная улицы, пешеходный бульвар, проходной, большой или малый двор), которые определяют основу, во-первых, для корректировки градостроительной композиции и, тем самым, способствуют конкретизации методов реконструкции на каждом участке, во-вторых, позволяют решить функционирование всей территории с точки зрения потребности включения конторских помещений в структуру дома и отразить это в реконструкции; расчет этапов проведения работ по реконструкции, поскольку сам процесс значительно растягивается по времени.

К первому направлению можно отнести все, что связано с коренным переустройством как самого существующего дома (значительное расширение корпуса, изменение его планировочной структуры, состава квартир, их комнатности и планировки, надстройку мансарды или нескольких этажей частями или над всем корпусом, пристройку мало-, средне- и многоэтажных блоков к существующему дому), так и территории вокруг него (устройство вставок различной этажности между домами, параллельных корпусов и т.п.). Разработана классификация возможных приемов надстройки и пристройки, которая вошла в приложение к Программе /1/.

Второе направление предусматривает модернизацию каждой отдельной квартиры при желании жильцов и за счет их средств независимо от остальной части дома. Возможности проведения таких работ обусловлены следующим: структура 5-этажного дома «работает» в иных условиях, нежели многоэтажного – ее первые два этажа тесно связаны с землей, верхний – пятый – по существу может быть модернизирован в квартиру с мансардой и используемой кровлей, два (три) промежуточных этажа как бы создают переходную зону от низа вверх. При обмене квартир теперь уже не нужно убеждать жильцов в преимуществах квартир первых и последних этажей, которые состоят в возможности увеличения их пространства и использования земли и кровли в качестве дополнитель-

ной площади и площадок для семейного отдыха.

На первых-вторых этажах с приватизированными квартирами и придомовой территорией можно развивать пространство квартир за пределы внешних стен на величину до 15-20 м, пристраивая не только новые планировочные блоки квартир, но и целые коттеджи. В квартирах средних этажей можно предусмотреть дополнительное устройство наружных стен на расстоянии до 3 м с каждой стороны, что дает уширение корпуса и возможность организации добавочных подсобных помещений. Квартира верхнего этажа вместе с крышей и кровлей должны принадлежать хозяину.

Для того, чтобы исключить хаос в индивидуальных предложениях, необходимо при отделах районных архитекторов, где должно проходить согласование проекта реконструкции или модернизации квартиры, создать бригаду проектировщиков-разработчиков номенклатуры возможных вариантов планировки и бригаду строителей (или иметь договор с подрядной организацией), которая будет выполнять строительные работы с использованием определенных материалов и необходимой техники. Конструктивная часть проекта должна предусматривать возможность последующей надстройки пристраиваемых частей к квартирам средних этажей. Оплата всех работ – проектных и строительных, – очевидно, также централизована, через банк.

Такое решение позволило бы упорядочить с точки зрения целостности архитектуры и сохранности конструкций происходящий процесс, удовлетворить жильцов в их нуждах увеличения площади квартир и продлить жизнь домов без поиска на то государственных средств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Державна програма України «Реконструкція житлових будинків перших масових серій» (перша редакція). – Київ, Держбуд України, 1998.

М.П. Емельянов, Ю.Г. Богуцкий

Крымская академия природоохранного и курортного строительства

Некоторые результаты оценки технического состояния каменных конструкций старинного здания

Показаны некоторые результаты обследования здания старинной постройки с использованием методики определения прочности каменной кладки по малогабаритным цилиндрическим образцам и расчетного моделирования работы сооружения.

каменные здания, прочность материалов, компьютерное моделирование, анализ надежности сооружения

Рассматриваемое здание расположено в центральной старой части города Симферополя и возведено более 100 лет назад. Документов по конструктивному решению здания не сохранилось. Обследуемое здание имеет вертикальные и ограждающие конструкции из каменных материалов различного вида и прочности. Стены подвальной части здания толщиной до 100 см выложены из бутовых известняков и камней правильной формы. Перекрытия в виде сводов и арочные проемы выложены из пильных камней. В значительной степени на оценку технического состояния сооружения влияют прочностные параметры камня и раствора каменной кладки. В настоящее время нормативной методики определения прочности каменной кладки по неперевязанному шву при обследовании существующих зданий и сооружений нет. В связи с этим применена новая методика испытаний кернов раствора и камня [1].

С помощью дрели-перфоратора в камнях и в местах сопряжения слоев каменной кладки отбирали керны диаметром 50 и 62 мм. По прямоугольному сечению керна расположен слой раствора с примыкающими частями камня [1]. Образцы, отобранные из камня, испытывали на сжатие по обычной схеме с использованием выравнивающего слоя из гипса по торцам цилиндров [2].

Образцы высверливали из сводов толщиной 340 мм, диафрагм толщиной 680 мм и стен, которые являются основанием сводов, толщиной 1 м.

Образцы испытывали на разрывной машине Р-20. Нагрузку прикладывали параллельно слоям каменного материала. Разброс результатов испытаний весьма значитель-

ный и, вероятно, объясняется разной первоначальной прочностью, а также разными условиями эксплуатации материалов в течение значительного периода времени.

Минимальные прочностные параметры материалов основных несущих конструктивных стен здания по результатам испытаний составляют: по камню МЗ, раствор нулевой прочности. Результаты определения прочности материалов сводов, арок и стен приведены в таблице 1, которые обрабатывали по [3], чтобы перейти к прочностям кубов, размерами 15х15х15 см., испытанных по стандартной методике. Места отбора проб в сводчатом перекрытии показаны на рис. 1.



Рис.1. Отбор проб из сводчатого перекрытия

С учетом достаточно сложного конструктивного решения здания, а также большой разности прочности материалов несущих конструкций, для оценки технического состояния выполняли расчет конструкций подвальных помещений с использованием программного комплекса

«Лира-Windows. Ver.9.0», который предназначен для численного исследования на ЭВМ несущей способности и устойчивости конструкций и реализуется на основе численного метода дискретизации сплошной среды – методе конечного элемента.

Таблица 1

№ образца	конструкция	H, см	Диаметр образца, см	Площадь A_i , см ²	Разрушающая нагрузка N_i , кгс	Прочность, приведенная к стандартному образцу $R_{сж}$, кгс/см ²
1	2	3	4	5	6	7
1	Стена	5,5	4,95	19,23	480	17,7
2	Стена	4,6	4,95	19,23	1216	41,4
3	Стена	7,5	6,15	29,69	164	3,92
4	Стена	4,8	4,95	19,23	2600	92,2
5	Стена	5,15	4,95	19,23	1616	57,3
6	Стена	4,85	4,85	18,46	192	7,1
7	Стена	5,3	4,85	18,46	148	5,7
8	Арка	5,0	4,8	18,09	304	12,3
9	Арка	4,65	4,75	17,71	160	9,94
10	Свод	4,8	4,7	17,34	152	6,2
11	Свод	5,1	4,5	15,9	64	3
12	Свод	5,0	4,9	18,85	144	5,4
13	Свод	5,1	4,85	18,46	128	5,1
14	Свод	4,7	4,8	18,09	96	3,7
15	Свод	5,35	4,9	18,85	176	6,8
16	Свод	5,45	4,7	17,34	100	4,4
17	Свод	5,1	4,8	18,09	190	7,7
18	Свод	4,95	4,7	17,34	96	4,1
19	Свод	5,3	5,0	19,62	2008	75
20	Свод	4,5	4,9	18,85	104	3,7
21	Свод	4,6	4,8	18,09	144	5,6
22	Свод	4,75	4,75	17,71	216	8,6
23	Свод	5,1	4,7	17,34	96	4,1

Цель расчетного моделирования – определить напряженно-деформированное состояние фрагментов конструкций сводчатого перекрытия подвала здания при известных прочностных характеристиках каменной кладки.

При построении расчетной схемы перекрытия подвала использованы четырехугольные и треугольные конечные элементы оболочки нулевой кривизны. При сборе на-

грузок на перекрытие учитывали все слои, обнаруженные в результате вскрытия при обследовании, объемный вес материалов принимали по результатам лабораторного определения на отобранных образцах.

Параметры жесткости конечных элементов, моделирующих работу перекрытий и стен подвала, принимали в соответствии с результатами, полученными при обследовании. Вследствие различных прочностных характеристик, расчет производили с учетом варирования марки камня и раствора.

В результате расчета получены компоненты напряженного и деформированного состояния при статическом нагружении вертикальной нагрузкой. На рис. 2, 3 приведены результаты расчета сводчатого перекрытия при марке камня М4 и нулевой прочности раствора. В табл.2. приведены результаты расчета пространственной модели свода.

Таблица 2.

Прочность камня, кг/см ²	Прочность раствора, кг/см ²	Расчетное сопротивление сжатию кладки по СНИП II-22-81, кг/см ²	Напряжения в кладке, кг/см ²	
			Nx	Ny
3	0	0,6	0,95	1,7
4	0	0,8	0,95	1,8
7	0	1,2	0,95	1,9
10	0	2	1,1	3
15	0	2,5	1,4	5,1

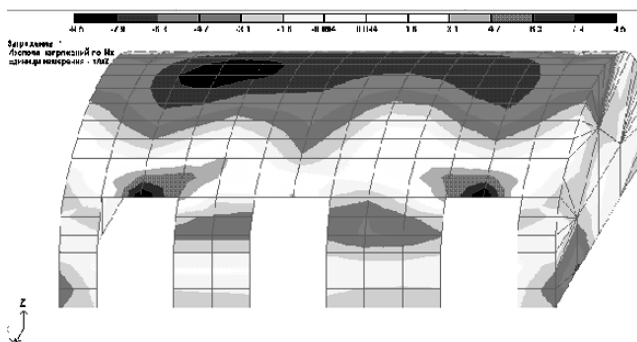


Рис. 2 Мозаика напряжений Nx

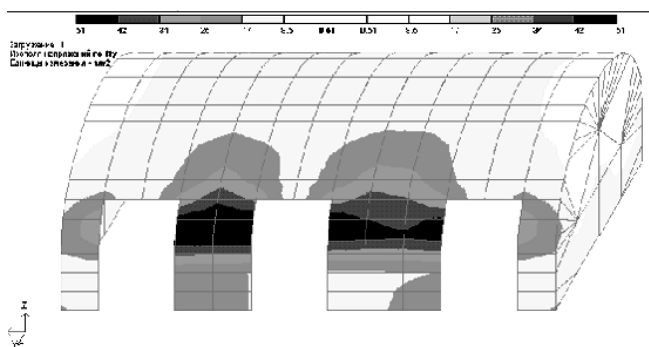


Рис. 3 Мозаика напряжений N_y

ВЫВОДЫ

Анализ напряженного состояния конструкций позволяет выделить участки и сечения, в которых напряжения при нагружении сооружения имеют наибольшие значения. Сравнение расчетных и фактических прочностных характеристик дает основание объективно оценивать надежность сооружения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Емельянов М.П. Особенности оценки прочности каменной кладки существующих зданий Сб. науч. тр. КАПКС 2002.
2. ГОСТ 8462-85. Материалы стеновые. Методы определения прочности при сжатии и изгибе. – М.: Изд-во стандартов, 1985.
3. ГОСТ 28570-90. Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобранным из конструкций. - М.: Изд-во стандартов, 1990.
4. СНиП П-22-81. Каменные и армокаменные конструкции. Нормы проектирования/Госстрой СССР - М.: Стройиздат, 1983, 40с.

В.В. Жигна, М.П. Емельянов

Крымская академия природоохранного и курортного строительства

К вопросу оценки сейсмостойкости и надежности старых зданий при реконструкции

Рассмотрены нормативные требования к зданию, возведенному в сейсмоопасном районе, дан анализ его фактической сейсмостойкости по современным нормам проектирования, методом математического моделирования указаны наиболее опасные фрагменты здания и узлы сопряжений отдельных конструкций, даны рекомендации по повышению сейсмостойкости здания.

обследование зданий в сейсмоопасных зонах, нормативная сейсмостойкость, математическое моделирование, рекомендации по повышению сейсмостойкости.

Существующие здания старой постройки с каменными несущими стенами в большинстве случаев не удовлетворяют требованиям современных норм проектирования сейсмостойких объектов. В данной статье приведены материалы по обследованию подобного здания и даны некоторые рекомендации по повышению его надежности.

Здание спортивной базы флота в г. Севастополе построено в 1933 г. в стиле рационализма и стилизовано под корабль. Башня - это мачта, на крыше – площадка в виде капитанского мостика, круглые окна первого этажа (иллюминаторы) довершают сходство (рис. 1).



Рис. 1. Фасад здания со стороны береговой черты и пристани.

Сооружение имеет весьма сложную систему и может быть условно классифицировано как здание с неполным каркасом и частично с жесткой конструктивной схемой (рис.2).

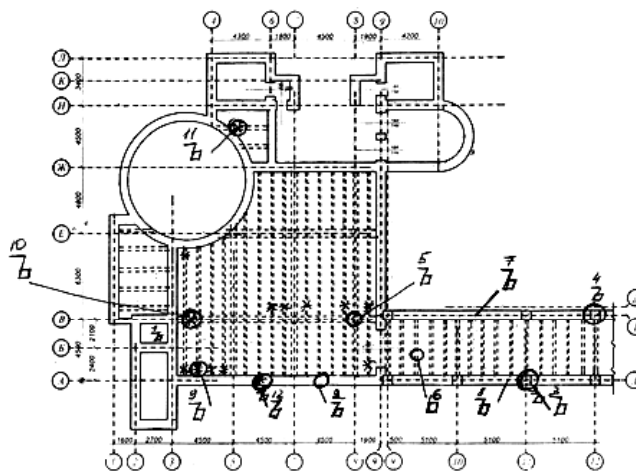


Рис. 2. Схема перекрытия на отм. 5,4 м

Б - * - места вскрытия конструкций

Основанием для этого являются колонны, расположенные в основной части здания. Конструктивное исполнение центрального входа и блок лестничной клетки являются элементами, характерными для зданий с жесткой конструктивной схемой. Перекрытие над цокольным и первым этажом выполнено ребристым, железобетонным.

Объект обследования можно разделить на два самостоятельных фрагмента: 2-х этажный каменный блок с надстройкой – башней в осях «1-9» и «А-Л», и двухэтажное строение в осях «9-12» и «А-Д» (рис.2).

Цилиндрическая часть здания в осях «1-4» ориентирована на площадь Нахимова. Фасад по оси «Л» выходит на Приморский парк. Морской фасад по оси «А» является основой архитектурного решения здания, создающий облик корабля.

За время существования здание неоднократно восстанавливали и реконструировали. Об этом свидетельствуют результаты обследования объекта. Первоначально здание было одноэтажным с центральными колонными залами. Лестничная клетка в осях «9-10» и «Ж-И» предназначалась для прохода на эксплуатируемую кровлю над залом в осях «3-9» и кровлю над открытой галереей цокольного этажа с окнами-иллюминаторами в осях «9-12» и далее.

Стены здания выполнены из природных камней пильного известняка правильной формы и имеют практически одинаковую конструктивную толщину 60 см. Вместе с тем в каменной кладке отмечены отдельные включения из пильного камня «ракушечника», которые имеют редкий и нерегулярный характер.

Общее состояние стен удовлетворительное. Однако каменные простенки во втором блоке здания имеют трещины из-за некачественного выполнения работ при возведении здания. Прочность каменной кладки определяли по специальной методике путем оценки параметров составляющих кладки по отдельным образцам из материалов стен [3]. Каменные простенки главного фасада здания по оси «2» и в цилиндрической части здания имеют малые поперечные размеры. Также продольные трещины и малые поперечные размеры имеют простенки по оси «А». Следует отметить, что современные нормы ограничивают ширину простенков из каменной кладки без усиления [2,6].

Толщина плит перекрытия, определенная в разных местах, составляет 10 см и армирована сеткой $\phi 10A1$ с ячейкой 200 мм.

Второстепенные балки с шагом 110 см, расположенные вдоль цифровых осей имеют сечение 20х30 см. Арматура второстепенных балок 3 $\phi 20A1$ расположена в пролете, а до опоры доходят два стержня. Третий стержень отгибом отведен на опору (стену или главную балку) и заанкеривается в балке или в стеновом железобетонном поясе. В соответствии с рекомендациями довоенного времени на опорах неразрезных балок установлены дополнительные стержни-отгибы, которые являются основной рабочей арматурой для восприятия опорных поперечных сил и обеспечивают прочность наклонных сечений [4]. Стыки продольной рабочей арматуры выполнены с помощью встречных

крюков без сварки. Поперечная арматура $\phi 6A1$ установлена с шагом 30 – 40 см. Балки в сопряжениях со стенами опираются непосредственно на каменную кладку, что допускается для монолитного перекрытия.

Главные балки, расположенные вдоль осей «В» и «Е», имеют сечение 45х55 см. Пролетная арматура балок 6 $\phi 20 A1$. Поперечная арматура $\phi 6 A1$ установлена с шагом 200 мм.

Согласно п. 1.5. [2], учитывая недостаточную надежность зданий со стенами из камней пильного известняка даже при невысоких уровнях сейсмических нагрузок, нормы требуют предусматривать объемно-планировочные и конструктивные мероприятия, повышающие сейсмостойкость. Кроме того, здание имеет сложную форму в плане, а отдельные участки здания имеют перепады высот более 3 м (один этаж). В таких ситуациях по действующим нормам [2,6] рекомендуется устройство антисейсмических швов, которые в обследуемом здании не были предусмотрены.

Поскольку оценки технического состояния выполняли в связи с предстоящей реконструкцией существующего здания, в котором, в силу его конструктивного решения невозможно выполнить антисейсмические швы, была предпринята попытка проанализировать состояние здания и его конструктивных элементов в условиях сейсмического воздействия на основе компьютерного моделирования. Такой методический подход позволяет не только получить информацию о напряженно-деформированном состоянии элементов здания, но и выявить наиболее напряженные фрагменты конструкций и узлы, требующие более тщательного «адресного» инструментального обследования.

Расчет здания выполнен с использованием программного комплекса «Лира-Windows», который предназначен для численного исследования на ЭВМ прочности и устойчивости конструкций, а также для автоматизированного выполнения ряда процессов конструирования.

Цель расчета – анализ напряженно-деформированного состояния конструкций и конструктивных элементов здания в условиях сейсмического воздействия при сейсмичности 7 баллов и разработка при необходимости соответствующих мероприятий по снижению негативных последствий. Учитывая недоста-

точную надежность зданий со стенами из камней, выполненных без антисейсмических мероприятий, основное внимание уделяли работе стеновых элементов.

Монолитные железобетонные перекрытия играют роль горизонтальных дисков жесткости, обеспечивающих совместную пространственную работу вертикальных элементов здания (стен, колонн). Поскольку задача исследования поведения железобетонных перекрытий при сейсмических воздействиях не ставилась, в расчетной схеме ребристое перекрытие заменено сплошной плитой с эквивалентной толщиной 15 см.

Параметры расчета на сейсмические воздействия задавали в двух направлениях: вдоль глобальной оси X (вдоль буквенных осей здания) – загрузка 2 и в направлении глобальной оси Y (вдоль цифровых осей здания) – загрузка 3. Сейсмичность площадки принята 7 баллов, категория грунта – I.

Расчет здания выполнен в двух вариантах: 1 вариант – на действие полной вертикальной нагрузки на перекрытие 1000 кгс/м^2 – существующая нагрузка на перекрытие; 2 вариант – на действие полной вертикальной нагрузки на перекрытие 600 кгс/м^2 – уменьшенная нагрузка за счет удаления лишних слоев стяжек и утеплителя при реконструкции.

Деформированные схемы здания и изополя напряжений, соответствующие различным сочетаниям нагрузок показаны на рис.3 и рис. 4.

На основе анализа напряженного состояния различных участков стен при различных сочетаниях нагрузок выявлены зоны и участки стен с максимальными значениями нормальных напряжений в вертикальном направлении N_y , горизонтальном направлении N_x и касательных напряжений T_{xy} .

Максимальные сжимающие напряжения в вертикальном направлении N_y в стенах цилиндрической башни достигают 109 тс/м^2 в узких простенках между проемами и на уровне низа стены вблизи больших проемов. Прочность каменной кладки обеспечена, однако уровень напряжений составляет $109/130=0,84$. Достаточно высокий уровень сжимающих напряжений в каменной кладке $N_y/R = 0,88$ получен также в стене по оси «3» на уровне низа простенков меж-

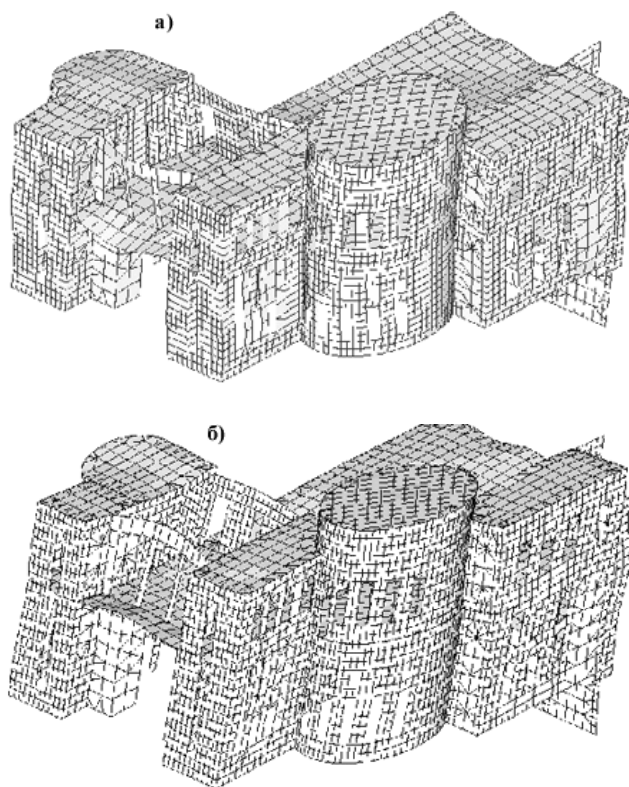


Рис.3. Деформированная схема здания:

а) при действии вертикальной нагрузки (загрузка 1); б) при сейсмическом воздействии в направлении глобальной оси Y (загрузка 3, 3 форма собственных колебаний).

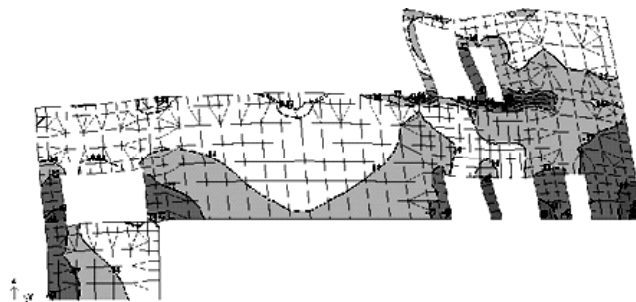


Рис. 4. Изополя напряжений N_y в стене по оси «9» при сочетании нагрузок 1 + 33

ду осями «В» - «Е» и на уровне низа стены по оси «Ж» вблизи проема, где уровень сжимающих напряжений составляет 0,81.

Нормальные напряжения в горизонтальном направлении N_x в зависимости от сочетания нагрузок могут быть растягивающими или сжимающими. Сжимающие напряжения N_x не превышают 52 тс/м^2 (стены цилиндрической башни, по оси «Л» и «Ж»). Максималь-

ные растягивающие напряжения в стенах цилиндрической башни достигают 41 тс/м^2 , а в стенах по осям «№» и «Ж» 51 тс/м^2 . Эти напряжения концентрируются, в основном, в уровне перекрытий и на уровне верха проемов в угловых зонах, носят локальный характер и быстро снижаются по мере удаления от перекрытия. При наличии железобетонных поясов, монолитно связанных с железобетонным перекрытием, такие местные перенапряжения стен можно считать не опасными.

Касательные напряжения N_{xy} концентрируются, в основном, в местах пересечения со стенами, в уровне перекрытия, в простенках. Максимальные их значения в отдельных фрагментах стен достигают 39 тс/м^2 , что примерно в 2,5 раза превышает сопротивление каменной кладки срезу по неперевязанному сечению, равному $R_{sq}=16 \text{ тс/м}^2$, и близко к сопротивлению срезу по перевязанному сечению, равному $R_{sq}=40 \text{ тс/м}^2$. Если максимальные касательные напряжения в каменной кладке в уровне перекрытия по длине контакта с ним действуют локально и их восприятие обеспечивается надежной связью монолитного железобетонного перекрытия со стенами, то высокий уровень касательных напряжений в простенках и вокруг проемов требует их усиления железобетоном или металлом. В наиболее неблагоприятных условиях находятся узкие простенки первого этажа цилиндрической башни, простенки между окнами по осям «А», «4», «10», места пересечений стен по осям «З», «4», «Ж» со стенами цилиндрической башни, участки примыкающие к проемам в стенах по осям «З», «Ж».

Как показали результаты расчета, уменьшение вертикальной нагрузки на перекрытия позволяет, в целом, снизить напряженное состояние стен. Однако это снижение не однозначно: на отдельных участках оно меньше, на других больше, где достигается снижение напряжений более чем в 2 раза. Причем, в выявленных зонах с высокими касательными напряжениями их уменьшение составляет 10-15%.

ВЫВОДЫ

Рассматриваемое здание возведено и перестроено без учета требований современных норм проектирования зданий для строительства в сейсмических районах.

Несмотря на невысокое качество основных строительных материалов и длительный срок эксплуатации здания в неблагоприятных и экстремальных условиях состояние здания в целом не вызывает опасения аварийной ситуации.

Рекомендуемые усиления частей здания касаются только простенков малой ширины, что обосновано выполненным расчетным анализом работы здания в условиях сейсмического воздействия и предусматриваются требованиями действующих норм проектирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айзенберг Я.М. От Сахалина до Турции. Некоторые уроки последних сейсмических катастроф.// Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений, 2000, №5, с. 10.
2. ДБН В.1.1-1-94 Проектирование и строительство гражданских зданий из блоков и камней пильных известняков крымских месторождений в сейсмических районах /Госкомградостроительство Украины.- К.: Укрархстройинформ, 1995.-43с.
3. Емельянов М.П. Особенности оценки прочности каменной кладки существующих зданий. В сб. научн. тр. КАПКС/ - Симферополь, 2002, с. 250-260.
4. Керстен К. Железобетонные сооружения. Производство работ и расчет основных форм. Применение железобетона в различных сооружениях. Пер. с нем. С.И. Каменецкий. Изд. 2-е. – С.-Петербург: Изд. Г.В. Гольстена, 1912.
5. СНиП П-22-81. Каменные и армокаменные конструкции. Нормы проектирования/Госстрой СССР - М.: Стройиздат, 1983,-40с.
6. СНиП П-7-81. Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования./Госстрой СССР.- М.: Стройиздат, 1982.-42 с.

В.Ф. Кириленко

Крымская академия природоохранного и курортного строительства

Статические испытания древесины на двустороннее двухплоскостное скалывание

В условиях двухплоскостного скалывания для хвойных и лиственных пород исследованы показатели прочности в зависимости от площади площадок скалывания
статические испытания, скалывание древесины

В работе несущих деревянных конструкций весьма важную роль играют деформации сдвига одних слоёв древесины относительно других, в результате чего может произойти разрушение, называемое скалыванием. Предел прочности древесины на скалывание на порядок меньше предела прочности на изгиб и сжатие вдоль волокон, и это обстоятельство часто не позволяет полностью использовать её высокие прочностные свойства в изгибаемых и сжато-изгибаемых элементах с резким изменением сечения, а также в соединениях, работающих на сжатие и скалывание (лобовые врубки, шпонки, колодки и др.). Обследование деревянных конструкций показывает, что в большинстве своём их многие дефекты и аварии являются следствием разрушения путём скалывания.

Существует много способов испытания деревянных образцов на скалывание вдоль волокон. Наиболее полный обзор и подробный анализ их содержится в работе Ф.П. Белянкина [1]. Здесь проанализировано более тридцати различных образцов и отмечено, что во всех случаях распределение касательных напряжений по длине площадок скалывания происходит неравномерно. Эпюры напряжений по длине плоскости скалывания имеют одnogорбый или двугорбый характер, а для малых площадок скалывания эпюра может иметь вид искаженной параболы. Кроме этого, во всех способах по площадкам скалывания действуют дополнительные нормальные растягивающие или сжимающие напряжения, полностью исключить которые не представляется возможным.

Среди всех образцов для испытания на скалывание наибольшее количество составля-

ют образцы на двустороннее скалывание, которые в свою очередь можно разделить на две группы:

- образцы с одноплоскостным двусторонним скалыванием, куда входит и стандартный отечественный образец, предложенный Л.М. Перелыгиным [2];
- образцы с двухплоскостным двусторонним скалыванием, включающие стандартный немецкий образец, образцы Викандера, Ланге и др.

Многие испытания образцов второй группы являются простыми, проводятся при непосредственном свободном опирании на плиты испытательной машины и не требуют специальных приспособлений. Именно это обстоятельство легло в основу предложенного нами метода определения ударной вязкости древесины и клеевых соединений на скалывание вдоль волокон [3] с применением маятникового копра, используемого обычно для ударного изгиба стали.

Наряду с динамическими испытаниями древесины в условиях двухплоскостного скалывания представляют интерес и результаты определения статической прочности.

Для проведения таких испытаний нами* из строганых досок хвойных (сосна) и лиственных (дуб, берёза, орех) пород толщиной 18 мм выпиливали призматические образцы длиной 100...150 мм и сечением 22х18 мм. Влажность древесины составляла 10-12%. Для исследования влияния размеров площадок скалывания (масштабного фактора) на прочность образцов в последних выполняли пропилы различной глубины. Их испытание проводили в специаль-

* В испытаниях принимали участие студенты Коротков Ю.Г., Мицай А.В., Тюпа Ю.В.

ном приспособлении, представленном на рис. 1. Образцы укладывали на опоры, расстояние между которыми, как и при ударных испытаниях, составляло 38 мм.

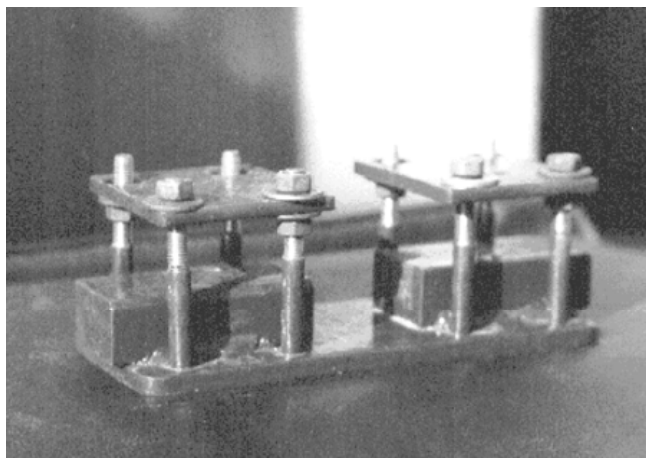


Рис. 1. Приспособление для испытания образцов на двустороннее двухплоскостное скалывание

Перед испытанием с помощью прижимных пластин и болтов осуществляли жёсткое защемление концов образцов (аналогичная схема испытания была в своё время предложена Ланге для образцов сечением 35x20 мм и длиной выкалываемой части 15 мм).

Сжимающее усилие на среднюю часть испытываемого образца прикладывали через металлическую пластину толщиной 10 мм, имеющую в центре сферическое углубление для стального шарика. Это обеспечивало равномерность передачи сжимающего усилия на поверхность средней части образца, а размеры стальной пластины исключали возможность её изгиба. Испытание проводили на прессе ПСУ-10 со шкалой 50 кН и ценой деления 0,2 кН при скорости нагружения 10 кН/мин.

Плоскости скалывания в абсолютном большинстве образцов совпадали с радиальным направлением древесины, т.е. исследовали радиальное скалывание вдоль волокон. Для каждого образца определяли максимальную нагрузку, вызывающую разрушение от скалывания вдоль волокон. Для определения среднего значения предела прочности количество образцов каждой породы

с определённой площадью площадок скалывания было не менее шести.

На рис. 2 показаны зависимости пределов прочности от суммарной площади площадок скалывания.

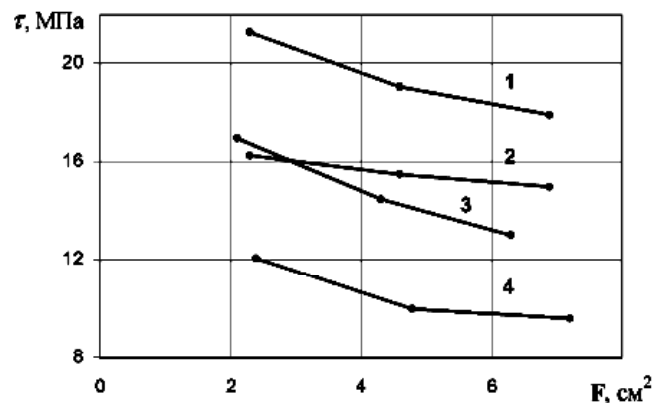


Рис. 2. Зависимость предела прочности от площади скалывания:

1 – дуб, 2 – береза, 3 – орех, 4 – сосна

Испытания показали, что при увеличении площади скалывания от 2 до 7 см² предел прочности для сосны, дуба, ореха и берёзы уменьшается в среднем на 15...20%. Тенденция уменьшения прочности древесины при увеличении площади скалывания была ранее обнаружена П.Я. Артёмовым при одноплоскостном скалывании образцов из сосны и дуба, а затем подробно проанализирована Ю.С. Соболевым и отнесена к категории масштабного фактора [4].

Абсолютные значения пределов прочности древесины сосны на скалывание вдоль волокон в проведенных испытаниях оказались близкими к значениям, полученным Ф.П. Белянкиным при испытании образцов в условиях двустороннего двухплоскостного скалывания (образцы Викандера и образцы Ланге).

По результатам испытаний в табл. 1 показаны значения пределов прочности на скалывание вдоль волокон по радиальной плоскости при суммарной площади скалывания 6 см² и аналогичные значения при стандартных испытаниях отечественных образцов на одноплоскостное скалывание при той же площади, взятые из работы [2].

Таблица 1

Пределы прочности при одноплоскостном и двухплоскостном скалывании вдоль волокон

Порода	Предел прочности на скалывание, МПа	
	двухплоскостное скалывание	одноплоскостное скалывание
сосна	9,7	6,9
дуб	18,3	9,3
берёза	15,0	8,5

Более высокие значения пределов прочности в проведенных нами испытаниях объясняются тем, что здесь разрушение при скалывании происходит под преимущественным влиянием нормальных сжимающих напряжений, действующих по плоскостям скалывания. Эти напряжения вызывают включение части волокон древесины в работу на сжатие, что повышает предельную несущую способность образца.

ВЫВОДЫ

1. Прочность при двухплоскостном скалывании вдоль волокон всегда намного больше, чем при испытании стандартных отечественных образцов и в значительной степени подвержена влиянию масштабного фактора.
2. Результаты статических и проведенных ранее динамических испытаний могут быть основой построения зависимости: время нагружения - прочность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белянкин Ф.П. Прочность древесины при скалывании вдоль волокон. – К.: Изд-во АН УССР, 1955. – 140 с.
2. Уголев Б.Н. Испытание древесины и древесных материалов. – М. Лесная промышленность, 1965. – 251 с.
3. Кириленко В.Ф., Коротков Ю.Г., Мицай А.В. Определение ударной вязкости древесины и клеевых соединений при сдвиге // Науковий вісник будівництва. – Вип. 18. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2002. – С. 218-221.
4. Соболев Ю.С. Древесина как конструкционный материал. – М.: Лесная промышленность, 1979. – 248 с

В.Ф. Кириленко, В.Г. Мотина

Крымская академия природоохранного и курортного строительства

В.А. Романенко

Крымский государственный индустриально-педагогический университет

Видоизмененное решение типа Файлона в задачах изгиба тавровых балок

Получено выражение для определения касательных напряжений в месте соединения пояса с изотропной или ортотропной стенкой, находящейся в условиях плоской задачи теории упругости.

изгиб, балка, плоская задача

Составной частью многих конструктивных элементов является изотропная или ортотропная прямоугольная пластинка, находящаяся в условиях плоского напряжённого состояния. При решении таких задач возникает необходимость в определении напряжений и перемещений при различных граничных условиях на продольных краях пластинок. Для прямоугольных пластин из изотропного материала П.Ф. - Папковичем [1] с помощью известных решений Рибьера и Файлона был получен большой набор готовых формул для всех практически встречающихся случаев. Для ортотропных пластин таких решений нет, поскольку они связаны с довольно громоздкими вычислениями. Для изотропных пластин Е.Н. Никольским [2] предложена более эффективная форма решения плоской задачи теории упругости с помощью тригонометрических рядов, в которой постоянными интегрирования являются коэффициенты разложения в ряды Фурье контурных нагрузок. Такая же форма затем была использована В.П. Лозбиневым [3] для ортотропных пластин с различной степенью ортотропии материала. Функция напряжений для изотропных и ортотропных пластин в этих работах принята в виде

$$F(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} f_n(y) \sin \alpha x = \sum_{n=1}^{\infty} -\frac{1}{\alpha^2} \left(a_n \Psi_1 + b_n \Psi_2 + c_n \Psi_3 + g_n \Psi_4 \right) \sin \alpha x, \quad (1)$$

где Ψ_i – функции, не зависящие от внешней нагрузки, а зависящие от упругих постоянных материала и размеров пластинки;

a_n, b_n, c_n, g_n – коэффициенты разложения контурных нагрузок (рис. 1), определяемые формулами Фурье

$$\begin{aligned} a_n &= \frac{2}{l} \int_0^l q_a(x) \sin \alpha x dx; \\ b_n &= \frac{2}{l} \int_0^l q_b(x) \sin \alpha x dx; \\ c_n &= \frac{2}{l} \int_0^l t_a(x) \cos \alpha x dx; \\ g_n &= \frac{2}{l} \int_0^l t_b(x) \cos \alpha x dx; \end{aligned} \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{n\pi}{l}.$$

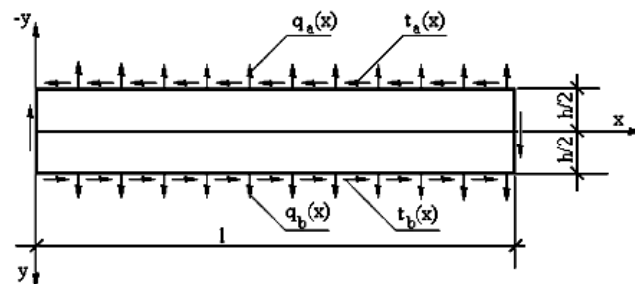


Рис. 1. Расчетная схема стенки тавровой балки в условиях плоской задачи

Нормальные и касательные напряжения в этом случае будут вычисляться формулами

$$\begin{aligned}
\sigma_x &= \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} = \\
&= \sum_{n=1}^{\infty} -\frac{1}{\alpha^2} \left(a_n \Psi_1'' + b_n \Psi_2'' + \right. \\
&\quad \left. + c_n \Psi_3'' + g_n \Psi_4'' \right) \sin \alpha x \\
\sigma_y &= \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} = \\
&= \sum_{n=1}^{\infty} \left(a_n \Psi_1 + b_n \Psi_2 + \right. \\
&\quad \left. + c_n \Psi_3 + g_n \Psi_4 \right) \sin \alpha x \\
\tau_{xy} &= -\frac{\partial^2 F}{\partial y^2} = \\
&= \sum_{n=1}^{\infty} -\frac{1}{\alpha} \left(a_n \Psi_1' + b_n \Psi_2' + \right. \\
&\quad \left. + c_n \Psi_3' + g_n \Psi_4' \right) \cos \alpha x
\end{aligned} \quad (3)$$

В этих выражениях Ψ_i , Ψ_i' , Ψ_i'' – функции, их первые и вторые производные, определяющиеся для изотропных пластинок согласно [2], для ортотропных – [3].

Рассмотрим напряженное состояние свободноопёртой тавровой балки при действии равномерно распределенной нагрузки p , приложенной к поясу балки. Интенсивность внешней нагрузки p будем относить к единице площади верхней кромки стенки. Высоту стенки тавра возьмем намного больше толщины пояса, а его ширину – небольшой по отношению к пролёту балки. Эти допущения позволяют игнорировать изгибную жёсткость пояса в плоскости изгиба и рассматривать равномерное распределение нормальных напряжений по его ширине. Тавровую балку в этом случае можно рассматривать в виде прямоугольной пластинки высотой h , верхний край которой подкреплён упругим тонким стержнем.

Вследствие принятых допущений для стенки балки согласно рис. 1 необходимо записать следующие граничные условия

$$\begin{aligned}
\sigma_y &= q_a(x) = -p; \\
\tau_{xy} &= t_a(x) \\
\sigma_y &= q_b(x) = 0; \text{ при } y = -\frac{h}{2} \\
\tau_{xy} &= t_b(x) = 0 \text{ при } y = +\frac{h}{2}
\end{aligned} \quad (4)$$

Коэффициенты разложения контурных нагрузок в этом случае согласно (2) будут равны

$$\begin{aligned}
a_n &= \frac{4p}{n\pi} \quad \text{при } n = 1, 3, 5, \dots; \\
a_n &= 0 \quad \text{при } n = 2, 4, 6, \dots; \\
b_n &= g_n = 0
\end{aligned} \quad (5)$$

Коэффициенты c_n неизвестных касательных напряжений $t_a(x)$ по контакту пояса со стенкой будут находиться из условия совместности деформаций.

Связь между перемещениями пояса (стержня) и действующей на него осевой нагрузкой даётся формулой сопротивления материалов [4]

$$\frac{d^2 u_0}{dx^2} = \frac{1}{EF^*} t_a(x), \quad (6)$$

где EF^* – жёсткость пояса на сжатие, отнесённая к толщине стенки δ .

При представлении касательных напряжений $t_a(x)$ в виде тригонометрического ряда по косинусам выражение (6) принимает вид

$$\frac{d^2 u_0}{dx^2} = \frac{1}{EF^*} \sum_{n=1}^{\infty} c_n \cos \alpha x. \quad (7)$$

Аналогичные перемещения верхней кромки ортотропной стенки можно найти из формулы закона Гука путём дифференцирования по переменной x

$$\begin{aligned}
\frac{\partial u}{\partial x} &= \frac{1}{E_1} \sigma_x - \frac{\nu_2}{E_2} \sigma_y = \\
&= \frac{1}{E_1} (\sigma_x - \nu_1 \sigma_y), \\
\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} &= \frac{1}{E_1} \left(\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} - \nu_1 \frac{\partial \sigma_y}{\partial x} \right).
\end{aligned} \quad (8)$$

Здесь E_1 – модуль упругости стенки в направлении оси x ,

ν_1 – коэффициент Пуассона материала стенки ($E_1 \nu_2 = E_2 \nu_1$).

Подставляя сюда значения напряжений σ_x и σ_y на верхней кромке стенки согласно (3) с учётом (5), получим

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{1}{E_1} \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \frac{4p}{n\pi} \left[\frac{1}{\alpha} \Psi_1'' \left(-\frac{h}{2} \right) + \right] + \left[\begin{array}{l} + v_1 \alpha \\ + c_n \Psi_3'' \left(-\frac{h}{2} \right) \end{array} \right] \right\} \cos \alpha x, \quad (9)$$

Путём приравнивания правых частей выражений (7) и (9) получим следующее выражение для определения неизвестных коэффициентов c_n

$$c_n = \frac{4p}{n\pi} \frac{\frac{1}{\alpha^2} \Psi_1'' \left(-\frac{h}{2} \right) + v_1}{\frac{1}{\alpha^2} \Psi_3'' \left(-\frac{h}{2} \right) - \frac{E_1}{\alpha E F^*}}. \quad (10)$$

В этом выражении вторые производные функций Ψ_i на верхней кромке стенки зависят от вида корней характеристического уравнения, соответствующего дифференциальному уравнению плоской задачи с применением функции напряжений

$$\frac{z^4}{E_1} - \left(\frac{1}{G} - \frac{2v_1}{E_1} \right) \alpha^2 z^2 + \frac{1}{E_2} \alpha^4 = 0 \quad (11)$$

Для вещественных и комплексных корней этого уравнения производные $\Psi_i'' \left(-\frac{h}{2} \right)$ содержатся в [3]. Для стенки из изотропного материала $E_1 = E_2 = E$; $G = E / 2(1 + \nu)$, корни характеристического уравнения (11) $z_{1,2} = \alpha$; $z_{3,4} = -\alpha$ и вторые производные $\Psi_1'' \left(-\frac{h}{2} \right)$ и $\Psi_3'' \left(-\frac{h}{2} \right)$ вычисляются следующим образом

$$\begin{aligned} \Psi_1'' \left(-\frac{h}{2} \right) &= \frac{-\operatorname{sh}^2 2U_n + 4U_n^2}{\operatorname{sh}^2 2U_n - 4U_n^2} \alpha^2, \\ \Psi_3'' \left(-\frac{h}{2} \right) &= \frac{-\operatorname{sh} 4U_n + 4U_n}{\operatorname{sh}^2 2U_n - 4U_n^2} \alpha^2 \end{aligned} \quad (12)$$

В качестве примера определим напряжения в составной стальной тавровой балке пролётом $b=300$ см, сечением стенки $h \times \delta = 20 \times 0,6$ см, сечением пояса 15×1 см. Все вычисления коэффициентов c_n согласно (10) при первых трёх членах тригонометрического ряда, $E = E_1$; $\nu = 0,3$ приведен в табл. 1.

Таблица 1

Вычисление коэффициентов c_n

n	U_n	$\frac{4p}{n\pi}$	ν	$\frac{1}{\alpha F^*}$	$\Psi_i'' \left(-\frac{h}{2} \right)$		c_n
					Ψ_1''	Ψ_3''	
1	0,1047	1,273p	0,3	3,82	-139,98 α^2	-19,65 α^2	7,58 p
2	0,3142	0,424p		1,27	-15,41 α^2	-6,53 α^2	0,82 p
3	0,5236	0,254p		0,76	-5,72 α^2	-3,38 α^2	0,33 p

Таким образом, касательные напряжения $t_a(x)$ в месте контакта пояса со стенкой по результатам табл. 1 будут представлены рядом

$$\begin{aligned} t_a(x) &= 7,58p \cos \frac{\pi x}{l} + \\ &+ 0,82p \cos \frac{3\pi x}{l} + 0,33p \cos \frac{5\pi x}{l}, \end{aligned} \quad (13)$$

что для опорного сечения ($x=0$) составит 8,73p.

Нормальные напряжения в точках верхней грани стенки согласно первого выражения (3) при $b_n = g_n = 0$ с учетом a_n согласно (5) и табличных значений коэффициентов c_n будут определяться так

$$\begin{aligned} \sigma_x &= 29,15p \sin \frac{\pi x}{l} + \\ &+ 1,17p \sin \frac{3\pi x}{l} + 0,32p \sin \frac{5\pi x}{l}, \end{aligned} \quad (14)$$

что в середине пролёта ($x = l/2$) составит величину 28,3р.

Для сравнения вычислим эти напряжения по формулам сопротивления материалов. Для этого определим изгибающий момент в середине пролёта и поперечную силу на опоре

$$M = \frac{ql^2}{8} = \frac{0,6р \cdot 300^2}{8} = 6750р ,$$

$$Q = \frac{ql}{2} = \frac{0,6р \cdot 300}{2} = 90р .$$

Для приведенных выше размеров таврового сечения расстояние от нижней кромки стенки до центра тяжести сечения

$$Y_{ц.т.} = \frac{\sum S_x}{\sum F_x} = \frac{0,6 \cdot 20 \cdot 10 + 15 \cdot 1 \cdot 20,5}{20 \cdot 0,6 + 15 \cdot 1} = 15,83 \text{ см}$$

Момент инерции сечения относительно центральной оси

$$I_x = \frac{0,6 \cdot 20^3}{12} + 0,6 \cdot 20 \cdot 5,83^2 + \frac{15 \cdot 1^3}{12} + 15 \cdot 1 \cdot (5,17 - 0,5)^2 = 1135 \text{ см}^4$$

Статический момент пояса относительно центральной оси

$$S_n = 15 \cdot 1 \cdot 4,67 = 70,05 \text{ см}^3 .$$

Касательные напряжения в соединении стенки с поясом

$$\tau = \frac{QS_n}{\delta I_x} = \frac{90р \cdot 70,05}{0,6 \cdot 1135} = 9,26р . \quad (15)$$

Максимальные нормальные напряжения в точках оси пояса

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I} = \frac{6750р \cdot 4,67}{1135} = 27,7р . \quad (16)$$

Сопоставление касательных напряжений согласно (13), (15) и нормальных согласно (14), (16) показывает их хорошее совпадение.

ВЫВОДЫ

1. Видоизмененное решение типа Файлона для тавровых сечений позволяет записать общее выражение для касательных напряжений по контакту пояса со стенкой, пригодное как для изотропных стенок, так и ортотропных с разной степенью анизотропии.
2. Для составной стальной балки с отношением величины пролёта к высоте сечения $l/h = 15$ учёт плоского напряжённого состояния стенки практически не вносит уточнений в элементарное решение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Папкович П.Ф. Теория упругости. – М.–Л.: Оборонгиз, 1939. – 638 с.
2. Никольский Е.Н. Оболочки с вырезами типа вагонных кузовов. – М.: Машгиз, 1963. – 312 с.
3. Лозбинев В.П. Форма решения плоской задачи теории упругости для прямоугольной ортотропной пластинки // Вопросы транспортного машиностроения. – Брянск, 1974. – Вып. 3. – С. 190-202.
4. Кириленко В.Ф. Видоизмененное решение типа Файлона и его применение к задачам определения контактных напряжений тавровых и двутавровых балок // Облегчённые конструкции покрытий зданий: Межвуз. сб. / РИСИ. – Ростов-на-Дону, 1981. – С. 85-91.

Ю.П. Линченко

Крымская академия природоохранного и курортного строительства

Методические основы изучения автоматизированного проектирования и управления строительством

Рассмотрены проблемы профессиональной подготовки инженеров строителей в области информационных технологий. Обоснована концепция многоуровневой подготовки при стандартном качестве и рейтинговой оценки результатов на этой основе. Изложены методические основы построения курса лекций и практических занятий. строительство, информационные технологии, обучение, методика.

В работе [1] мы рассмотрели современные тенденции развития проектирования и управления строительным производством. Отмечено возрастание роли автоматизированных средств, изменение функций специалиста и предъявляемых к нему требований - широкое внедрение информационных технологий на всех стадиях проектирования и производства, переход к управлению проектами. Обоснованы концептуальные принципы подготовки специалистов: овладение комплексом автоматизированных средств, учет индивидуальных особенностей обучаемых, многоуровневая система подготовки. Отмечена необходимость разработки новых методов и методик подготовки.

Цель настоящей статьи показать и обосновать подходы к формированию комплекса методических средств и организации учебного процесса при изучении системы автоматизированного проектирования и управления строительством.

Прежде всего, необходимо определить цель и приоритетные задачи подготовки. Определим цель следующим образом: современный специалист должен уметь самостоятельно овладевать непрерывно развивающимся комплексом информационных технологий в области своей деятельности с целью совершенствования строительного производства.

Информационные технологии должны рассматриваться как инструмент эффективного достижения конечной цели. Следовательно, при изучении САПР задачи должны ставиться изначально как научные, проектные, производственные. Не следует изучать элементы САПР, программные средства в отрыве от этих задач. С этих же позиций необходимо разрабатывать методическое обеспечение.

В процессе изучения должен быть рассмотрен весь комплекс средств – от архитектурного проектирования до управления строительством. Это соответствует современной тенденции в проектировании и строительном производстве – переход от узкой специализации к управлению проектами и развитию программных средств – создание интегрированных систем проектирования и управления строительством.

На основе более чем 10-летней практики преподавания курса САПР нами выявлены определенные противоречия в традиционной методике. Естественно, что все студенты имеют различный уровень подготовки в области строительной механики и строительных конструкций, однако курсовые проекты они выполняют одинаковой сложности. Оценка же проекта определяется качеством его выполнения, глубиной проработки и усвоения знаний, необходимых для выполнения. При изучении САПР на неравномерность подготовки в области строительных дисциплин накладывается неравномерность подготовки в области информационных технологий. При этом мы имеем размах от студента отлично знающего строительные конструкции и с детства имеющего доступ к компьютерной технике – до студента, знающего специальные строительные дисциплины лишь удовлетворительно и сталкивавшегося с компьютерной техникой лишь эпизодически при изучении основ информатики до удовлетворительного уровня. При руководстве дипломными работами нам приходилось сталкиваться с ситуациями, когда для магистранта, готовящего работу по методике автоматизированного проектирования и анализа конструкций, загадкой остаются вопросы сохранения и поиска файлов. Это приводило к неоднократной потере инфор-

мации, необходимости повторять выполненные ранее этапы работы.

Часто приходится сталкиваться с ситуацией, когда студент, выполняющий проектную задачу на программном комплексе, допускает некоторую ошибку и получает сообщение или предупреждение от программы. При этом обучаемый не может сказать, какие операции выполнял с программой и для достижения какой проектной цели. Следовательно, работа выполнялась формально. Это противоречит основной цели изучения САПР, сформулированной выше. При разработке методики преподавания САПР необходимо учесть особенности в начальной подготовке студентов.

С другой стороны мы имеем задачи конечной общей и дополнительной подготовки специалистов различного уровня: специалист, магистр, специалист или магистр по заказу специализированной организации. Причем общий курс САПР обучаемые слушают и осваивают совместно. Все эти объективные условия приводят к тому, что при усредненном однообразном подходе студенты с низким уровнем подготовки выполняют задания формально, не достаточно глубоко усваивая материал, а студенты с высоким уровнем подготовки не имеют всех возможностей для творческого развития.

Что такое студент – троечник. Это студент, выполнивший тот же курсовой проект, что и

отличник, но некачественно. В современных условиях такая ситуация недопустима. Современные условия строительства расставляют приоритеты следующим образом: 1- время, 2 – качество, 3 – стоимость. Перенесем эту иерархию на учебный процесс. Фактор времени играет здесь меньшую роль, чем фактор качества. Высокая оценка работы определяется ее количеством и сложностью в заданный период времени, при безусловно высоком качестве. Это позволяет исключить формальный подход при изучении дисциплины.

Учитывая изложенные факторы, следует рекомендовать переход от системы здания единой сложности к системе заданий повышающейся сложности – то есть многоуровневой системе заданий. Соответственно формируется курс лекций (рис.1). Первый уровень начинается с входного контроля (ВК), при котором обращается внимание элементы знаний, необходимые для начального освоения курса САПР. Далее в течение приблизительно половины семестра рассматривается на лекциях (Л) и осваивается на практических занятиях (П) полный комплекс средств автоматизированного проектирования и управления строительством от архитектурно-строительной части (АС) до сметных расчетов (ОСП). На первом уровне излагаются основы теоретического курса и решаются простейшие задачи. В конце цикла подводятся итоги и дается обобщенное представление о системе на основе полученных знаний.

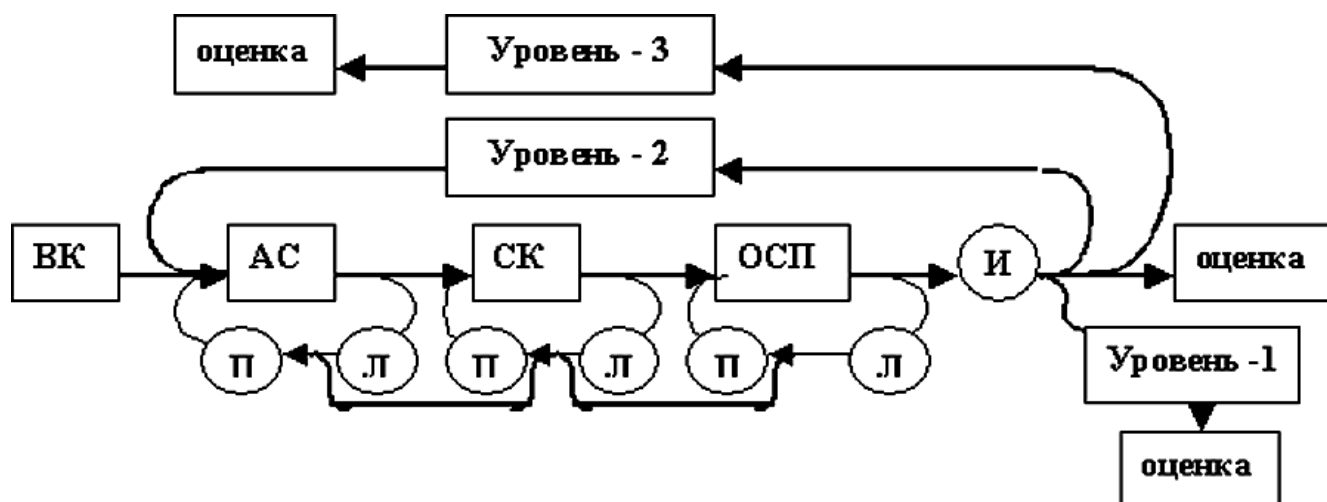


Рис.1. Диаграмма курса САПР

На втором уровне (вторая половина семестра) изучаются теоретические вопросы и совершенствуются методические навыки для решения более сложных задач проектирования. При этом студент уже имеет общее теоретическое представление о САПР и начальные практические навыки для освоения методики решения сложных задач. Выполнив второй уровень подготовки студент получает знания и умения достаточные для самостоятельной работы и может участвовать в научной и производственной работе кафедры.

На третьем уровне общие лекции и практические занятия отсутствуют. Обучение осуществляется методом консультаций.

В системе не допускается переход к заданию более высокого уровня без выполнения задания предыдущего уровня. Критерием выполнения задания является его качество. Для студентов всех уровней подготовки предъявляются одинаковые требования по качеству выполнения задания. Конечная оценка определяется достигнутым уровнем сложности задач. Минимальный уровень сложности ориентирован на студентов с низким уровнем подготовки как в области строительных конструкций и низким уровнем компьютерной грамотности. Верхний уровень сложности не ограничен. Любой уровень сложности доступен каждому студенту и зависит кроме установки преподавателя также от собственной целевой установки студента, что формирует его активную позицию. Общую целевую установку можно сформулировать следующим образом: количество и сложность работы определяется знаниями и навыками студента; качество работы определяется стандартом и не может быть снижено. Оценка при таком подходе отражает не качество (качество стандартное), а уровень задач, которые может решать обучаемый. Поскольку верхний уровень задач не ограничен, то мы практически переходим к рейтинговой системе оценки знаний и умений. Заказчик специалиста по оценке может установить уровень специалиста при гарантированном качестве. Что означает оценка «удовлетворительно в традиционной постановке? То, что студент выполнил стандартный курсовой проект, но

выполнил некачественно и плохо разбирается в некачественно выполненной работе. Но кому нужен такой специалист?

Рассмотрим уровни задач, требования к качеству их решения и их оценку. Первый минимальный уровень обязателен для каждого студента. Он включает простые задачи с полностью определенными исходными данными. Например, проектирование каркаса многоэтажного здания. Путем анализа несущей системы здания задача сводится к расчету плоской рамы. Задача повторяет выполненный ранее курсовой проект по железобетонным конструкциям. Поэтому студенты уже имеют представление о проектируемом объекте и могут сосредоточиться на методике автоматизированного проектирования. Все конструктивные решения, нагрузки, сечения элементов и характеристики материалов заданы. В методических указаниях даны подробные алгоритмы построения расчетной модели (вплоть до последовательности команд) и анализа результатов. Мультимедийное учебное пособие (ММП – рис.2) показывает и разъясняет последовательность построения расчетной модели и выполнения расчетов. Задача состоит из нескольких этапов и доводится до конечных проектных решений – чертежей и пояснительной записки. Затем выполняется локальная смета на устройство каркаса. Таким образом, уже на первом уровне в упрощенной постановке прослеживается весь цикл проектирования: от разработки архитектурно-планировочных решений - до определения стоимости строительства. Студент получает первоначальные навыки работы с комплексом программных средств, представление о методике автоматизированного проектирования и оформлении промежуточной и конечной документации.

Задачи первого уровня простые с полной исходной информацией: построение плана каркасного здания; проектирование ригеля и колонны плоской рамы; составление сметы на каркас здания. Вместе с тем, уже на 1-м уровне, обучаемый знакомится с комплексной системой автоматизированного проектирования и управления в строительстве: архитектура - конструкции - сметы. Принцип обучения - освоение про-

граммного комплекса до автоматизма выполнения операций (рис.2). Критерий выполнения контрольной расчетно-графической работы – выполнение индивидуально-го задания в течение 20 минут без ошибок.

Студенты тренируются, выполняя обучающий пример (ОП) до тех пор, пока не смогут решить задачу в течение заданного времени без ошибок. Этим реализуются современные приоритеты: время, качество. Освоив интерфейс комплекса до автоматизма, обучаемый получает возможность при решении индивидуальных задач (РГР) сосредоточиться на сущности решения задачи, а не выполнении формальных операций ввода данных и вывода результатов. На каждом шаге обучения осуществляется контроль (К) и анализ (А) результатов проектирования.

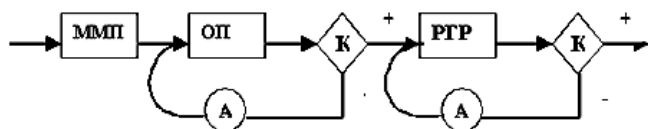


Рис.2. Диаграмма практических занятий

С точки зрения оформления документации эталоном является образец выполнения задания. Элементарные команды при работе с программными комплексами должны быть усвоены настолько глубоко, что бы перейти на подсознательный уровень. Их последовательность и пояснения к ним в методических указаниях к задачам высших уровней не повторяются.

Приведем перечень документации проектирования:

1. Задание на проектирование;
2. Анализ несущей системы здания;
3. Сценарий проектирования;
4. Исходные данные для расчета и конструирования на ПК;
5. Сценарий (алгоритм) проектирования;
6. Журнал проектирования;
7. Чертежи и пояснительная записка.

На первый взгляд количество документов велико. Однако многолетний опыт пре-

подавания САПР показывает, что системный подход к процессу проектирования позволяет экономить массу времени.

Второй уровень включает задачи с ограниченной исходной информацией, более сложной расчетной моделью и вариантным претированием. Например, пространственная стержневая несущая система. Исходные данные задаются общие: назначение здания, размеры в плане, этажность. Конструктивные решения, расчетная схема и материалы, программные средства принимаются и обосновываются студентом самостоятельно.

ВЫВОДЫ

1. Многоуровневая система заданий исключает формальный подход к их выполнению. Акцент переносится на качество освоения дисциплины выполнения практических задач.
2. Системное освоение отдельных программных средств и методики их применения позволяет обучаемому в последующем самостоятельно осваивать другие программные средства и методику их применения.
3. Методика обучения ориентирована на конечную цель – эффективное применение современных информационных технологий в производственной и научной деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Линченко Ю.П. Концепция подготовки специалистов на базе профессиональных информационных технологий в строительстве /Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов КАПКС, №5. Издательство КАПКС. –Симферополь, 2001. С 5...10.

Ю.П. Линченко М.В. Васильев

Крымская академия природоохранного и курортного строительства

Анализ прочности каменной кладки по результатам расчета НДС на ПК ЛИРА при косом внецентренном сжатии

Описана проверка прочности каменной кладки по результатам расчета напряженно-деформированного состояния на программном комплексе «ЛИРА»

каменная кладка, проверка прочности

Объемы реконструкции, восстановления и усиления зданий с каменными стенами увеличиваются. Зачастую эти мероприятия производятся в сложных инженерно-геологических и эксплуатационных условиях. Для эффективной реконструкции зданий необходимо развитие методов обследования и расчета конструкций с учетом их фактического состояния, условий эксплуатации и усиления на базе современных информационных технологий.

Нормы проектирования строительных конструкций в основном ориентированы на проектирование новых зданий и содержат лишь общие указания или только некоторые частные случаи по усилению и реконструкции, особенно в сложных инженерно-геологических условиях. При обследовании зданий выявляются конструктивные решения, не соответствующие требованиям, а иногда и не предусмотренные нормами. Прямое выполнение ряда требований норм проектирования, особенно конструктивных, невозможно в существующих зданиях. В проекте новых норм проектирования в сейсмических районах допускается отступление от конструктивных требований при соответствующем обосновании. Обоснованием должны быть результаты углубленного расчетного анализа.

В настоящее время разработаны мощные средства анализа напряженно-деформированного состояния несущих систем зданий и сооружений на основе метода конечных элементов (МКЭ) – отечественные программные комплексы «ЛИРА», «SCAD», зарубежный «ALGOR» (США) и другие.

Для железобетонных и металлических конструкций разработаны модули расчета и конструирования. Для каменных конструкций конечным результатом являются компоненты напряженного состояния в конечных элементах (КЭ) расчетной модели. Для того чтобы выполнить проверку несущей способности конструкций эта информация подлежит соответствующему анализу и переработке. В тоже время усло-

вия прочности норм проектирования включают обобщенные характеристики конструктивных элементов.

Руководства по применению программных комплексов раскрывают их интерфейс и средства моделирования [2]. Вопросы анализа (конструктивное решение – адекватная модель) не рассматриваются.

Имеются программы для расчета отдельных каменных конструкций без учета их напряженно-деформированного состояния в несущей системе здания.

В системе «Мономах» разработана подсистема «Кирпич», которая позволяет рассчитать прочность каменных конструкций с учетом пространственной работы здания. При этом прочность определяется в КЭ, а не в конструктивном элементе. В программе проводится проверка на центральное сжатие.

Методика перехода между компонентами напряжений в конечных элементах и расчетными условиями норм [1] не разработана.

Конструктивные требования норм проектирования отражают опыт строительства и эксплуатации зданий не формализованный теорией и методами расчета. Анализ НДС зданий современными программными средствами позволяет заменить конструктивные требования расчетно-аналитическим обоснованием.

Нормы проектирования и строительства отражают общечеловеческую практику, поэтому результаты расчета НДС на программных комплексах должны быть преобразованы в проверку расчетных условий норм.

Предлагаемая работа развивает методы моделирования с применением современных программных средств, анализа прочности на основе моделирования несущих систем зданий с каменными стенами; создает базу для разработки модуля расчета каменных конструкций в составе программного комплекса «ЛИРА» [2].

Цель исследований: разработка методики расчета прочности каменных конструкций по результатам анализа НДС на ПК «ЛИРА».

Рассмотрим простенок, испытывающий косое внецентренное сжатие. Схема простенка показана на рис. 1.

Марка камня М100; марка раствора М50.

Модуль упругости (начальный модуль деформаций) согласно формуле (1) [1]:

$$E_0 = \alpha R_U,$$

где $R_U = kR$ – временное сопротивление (средний предел прочности) сжатию кладки, определяемое по формуле (3) [1].

$k = 2,0$ – коэффициент, принятый по табл. 14 [1] для кладки из крупных блоков.

$R = 2,7 \cdot 1,1 = 2,97 \text{ МПа}$ – расчетное сопротивление сжатию кладки, согласно табл. 4 [1].

$\alpha = 1000$ – упругая характеристика кладки, согласно п. 3, табл. 15 [1].

$$R_U = 2,0 \cdot 2,97 = 5,94 \text{ МПа}.$$

$$E_0 = 1000 \cdot 5,94 = 5940 \text{ МПа}.$$

Расчетное сопротивление срезу по неперевязанному сечению $R_{sq} = 0,16 \text{ МПа}$.

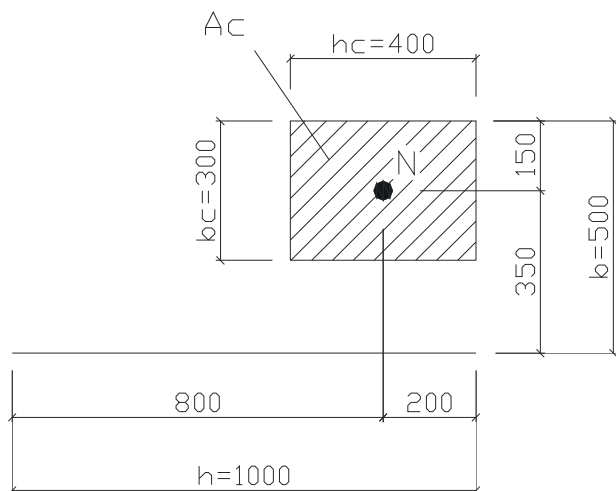


Рис. 1. Расчетная схема сечения при косом внецентренном сжатии

Расчет по методике СНиП II-22-81

Расчет выполнен согласно п. 4.12. [1].

$$h_c = 0,4 \text{ м}; b_c = 0,3 \text{ м}; A_c = 0,12 \text{ м}^2.$$

Расчет внецентренно сжатых неармированных элементов каменных конструкций производится по формуле (13) [1]:

$$N \leq m_g \varphi_1 R A_c \omega,$$

где $\varphi_1 = \frac{\varphi + \varphi_c}{2}$, φ – коэффициент продольного изгиба для всего сечения в плоскости действия изгибающего момента, определяемый по расчетной высоте элемента l_0 , и гибкости

$\lambda_h = \frac{l_0}{h}$ по табл. 18 [1]; φ_c – коэффициент продольного изгиба для сжатой части сечения, определяемый по фактической высоте элемента H по табл. 18 [1] в плоскости действия изгибающего момента при отношении

$$\lambda_{hc} = \frac{l_0}{h_c}.$$

Поскольку размеры сечения больше 30 см, то согласно п. 4.7. [1] значение коэффициента $m_g = 1$.

Коэффициент $\omega = 1$, согласно табл. 19 [1].

Значения величин составят:

– при расчете из плоскости простенка:

$$\lambda_h = \frac{l_0}{b} = \frac{3}{0,5} = 6;$$

$$\varphi = 0,96;$$

$$\lambda_{hc} = \frac{l_0}{b_c} = \frac{3}{0,3} = 10;$$

$$\varphi_c = 0,88;$$

$$\varphi_1 = \frac{\varphi + \varphi_c}{2} = \frac{0,96 + 0,88}{2} = 0,92;$$

– при расчете в плоскости простенка:

$$\lambda_h = \frac{l_0}{h} = \frac{3}{1} = 3;$$

$$\varphi = 1;$$

$$\lambda_{hc} = \frac{l_0}{h_c} = \frac{3}{0,4} = 7,5;$$

$$\varphi_c = 0,93;$$

$$\varphi_1 = \frac{\varphi + \varphi_c}{2} = \frac{1 + 0,93}{2} = 0,965;$$

В результате получены максимальные значения расчетной продольной силы при изгибе простенка из плоскости и в плоскости, представленные в табл. 1.

Таблица 1.

Значения расчетной продольной силы

Эксцентриситет	Максимальная расчетная продольная сила N, кН
Из плоскости	327,89
В плоскости	343,93

Расчет на ПК «Ли́ра»

Для сопоставления с результатами расчета, выполненного согласно требованиям СНиП [1], при помощи программного комплекса Ли́ра 9.0 [2] создана расчетная модель с аналогичными геометрическими характеристиками.

Схема составлена из плоских прямоугольных конечных элементов (КЭ) типа оболочка. Расчетная модель представлена на рис. 2. Для оценки влияния на результаты расчета количества КЭ по ширине простенка рассмотрены четыре варианта модели – от 1 до 4 КЭ в простенке.

Модель загружена расчетной продольной силой $N=327.89$ кН (см. табл. 1).

При анализе результатов расчета можно воспользоваться напряжениями в КЭ или реакциями в узлах.

Анализ реакций в узлах конечных элементов

В качестве исходных данных для проверки прочности простенка используем компоненты реакций в нижних узлах верхнего ряда КЭ: сосредоточенную силу Pz_i и сосредоточенный момент из плоскости простенка My_i .

Суммарная продольная сила в сечении простенка определяется по формуле:

$$N = \sum_{i=1}^n Pz_i,$$

где n – количество узлов в сечении простенка.

Эксцентриситет приложения этой силы в плоскости простенка вычислим составив уравнение моментов относительно края простенка:

$$\sum_{i=1}^n M_i = \sum_{i=1}^n Pz_i \cdot x_i,$$

где x_i – расстояние от края простенка до i -го узла.

При равномерной сетке узлов $x_i = a \cdot (i - 1)$, где a – шаг узлов. Тогда

$$\sum_{i=1}^n M_i = a \sum_{i=1}^n Pz_i \cdot (i - 1).$$

Эксцентриситет относительно края простенка:

$$e_i = \frac{\sum_{i=1}^n M_i}{N} = \frac{a \sum_{i=1}^n Pz_i \cdot (i - 1)}{N}.$$

Относительно центра тяжести сечения:

$$e_{0h} = \frac{a \sum_{i=1}^n Pz_i \cdot (i - 1)}{N} - \frac{h}{2}.$$

Эксцентриситет приложения силы из плоскости простенка:

$$e_{0b} = \frac{\sum_{i=1}^n My_i}{N}.$$

Площадь сжатой части сечения:

$$A_c = 4 \left(\frac{b}{2} - e_{0b} \right) \left(\frac{h}{2} - e_{0h} \right).$$

Полученные по этой методике значения расчетной продольной силы равны значениям, полученным по методике СНиП [1]. Причем проведенные расчеты показали, что значение расчетной продольной силы не зависит от значения внешней нагрузки, действующей на простенок.

Результаты расчетов для модели, показанной на рис. 2г, представлены в таблицах 2-3.

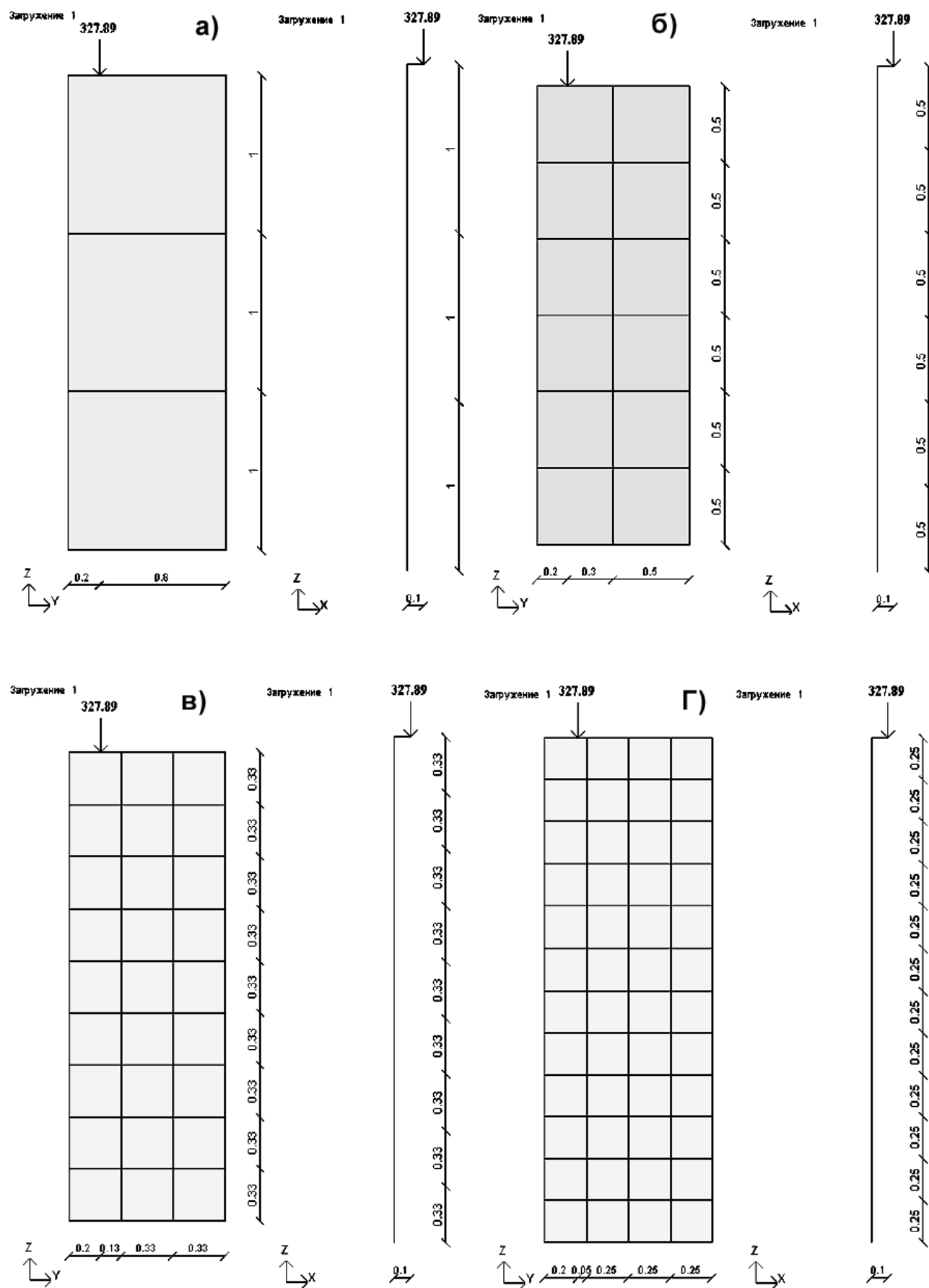


Рис. 2. Варианты расчетной модели простенка

Таблица 2.

Определение эксцентриситетов приложения сосредоточенной силы

i	Pz_i , кН	My_i , кНм	e_i , м	M_i , кНм	e_{0h} , м	e_{0b} , м
1	101.59	-4.4	0	0	0.3	0.1
2	156.48	-8.33	0.25	39.12		
3	81.96	-8.17	0.5	40.98		
4	9.53	-7.9	0.75	7.15		
5	-21.67	-4	1	-21.67		
	$N = 327.89$	$\sum_{i=1}^5 My_i = 32.789$		$\sum_{i=1}^5 M_i = 65.58$		

Таблица 3.

Значения расчетной продольной силы

Эксцентриситет	l_0 , м	λ_h	φ	A_c , м ²	h_c , м	λ_{hc}	φ_c	φ_1	m_g	ω	$N \leq$, кН
Из плоскости	3	6	0.96	0.12	0.3	10	0.88	0.92	1	1	327,89
В плоскости	3	3	1	0.12	0.4	7.5	0.93	0.97	1	1	343,93

Анализ напряжений в конечных элементах

Если простенок моделируется по ширине более чем одним КЭ, то для анализа его НДС можно воспользоваться компонентами напряжений, вычисляемым в центре каждого КЭ.

В результате расчета были получены значения нормального напряжения (N_y), действующего вдоль вертикальной оси и момента (M_y), действующего из плоскости простенка, в верхнем ряду КЭ. По этим данным, в соответствии с размерами сечений КЭ, вычислены значения сосредоточенных вертикальных сил (N) и изгибающих моментов (M_b) (рис. 3), точкой приложения которых является центр тяжести соответствующего КЭ. А так же значение изгибающего момента (M_h), действующего в плоскости простенка. Значения вычислены по следующим формулам:

$$N_j = N_{yj} \cdot b_j \cdot t_j;$$

$$M_{bj} = M_{yj} \cdot b_j;$$

$$M_{hj} = N_j \cdot e_j,$$

где b_j и t_j —соответственно ширина и толщина j -го КЭ, e_j — расстояние от центра тяжести j -го КЭ до центра тяжести простенка.

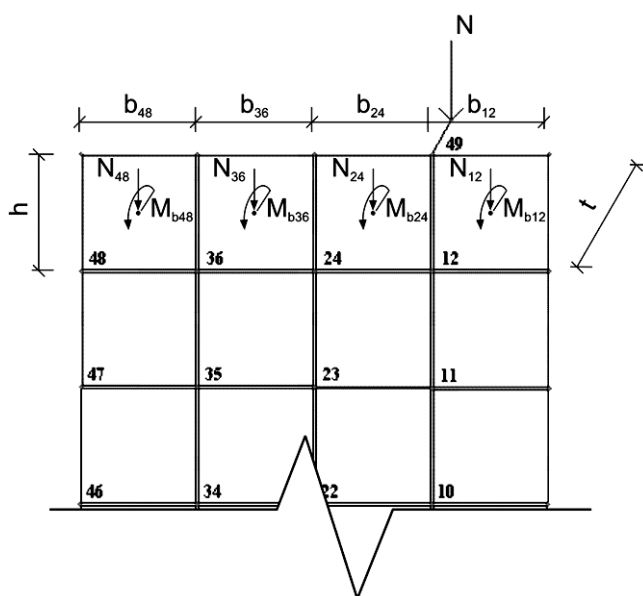


Рис. 3. Схема приложения сосредоточенных сил и моментов.

Результаты расчетов представлены в таблицах 4-5.

Определение эксцентриситетов приложения сосредоточенной силы

j	$N_{yj}, \kappa H / \text{м}^2$	$N_j, \kappa H$	$M_{yj}, (\kappa H \text{м}) / \text{м}$	$M_{bj}, \kappa H \text{м}$	$e_j, \text{м}$	$M_{hj}, \kappa H \text{м}$	$e_{0h}, \text{м}$	$e_{0b}, \text{м}$
Простенок из двух КЭ								
1	-1188.18	-297.04	33.66	16.83	-0.25	74.26	0.203	0.1
2	-123.38	-30.85	31.92	15.96	0.25	-7.71		
	$N=327.89$			$M_b=32.789$		$M_h=66.55$		
Простенок из трех КЭ								
1	-1412.56	-235.43	34.1	11.37	-0.33	78.48	0.2543	0.1
2	-643.38	-107.23	33.78	11.26	0	0		
3	88.59	14.77	30.49	10.16	0.33	4.92		
	$N=327.89$			$M_b=32.789$		$M_h=83.4$		
Простенок из четырех КЭ								
1	-1533.66	-191.71	34.12	8.53	-0.38	71.89	0.2737	0.1
2	-924.8	-115.6	35.17	8.79	-0.13	14.45		
3	-355.67	-44.46	32.54	8.13	0.125	-5.56		
4	191.01	23.88	29.33	7.33	0.375	8.95		
	$N=327.89$			$M_b=32.789$		$M_h=89.74$		

Таблица 5.

Значения расчетной продольной силы

Эксцентриситет	$l_0, \text{м}$	λ_h	φ	$A_c, \text{м}^2$	$h_c, \text{м}$	λ_{hc}	φ_c	φ_1	m_g	ω	$N \leq, \text{кН}$	Отклонение N от значения по СНиП, %
Простенок из двух КЭ												
Из плоскости	3	6	0.96	0.1782	0.3	10	0.88	0.92	1	1	486.97	48.52
В плоскости	3	3	1	0.1782	0.59407	5.05	0.98	0.99	1	1	524.03	52.37
Простенок из трех КЭ												
Из плоскости	3	6	0.96	0.1474	0.3	10	0.88	0.92	1	1	402.74	22.83
В плоскости	3	3	1	0.1474	0.49131	6.11	0.9579	0.98	1	1	428.54	24.6
Простенок из четырех КЭ												
Из плоскости	3	6	0.96	0.1358	0.3	10	0.88	0.92	1	1	371.04	13.16
В плоскости	3	3	1	0.1358	0.45264	6.63	0.9474	0.97	1	1	392.71	14.18

ВЫВОДЫ

1. При анализе напряженно-деформированного состояния простенка по реакциям в узлах конечных элементов результаты не зависят от дискретизации расчетной модели и соответствуют результатам по СНиП [1].
2. При анализе напряженно-деформированного состояния простенка по напряжениям в конечных элементах результаты в значительной степени зависят от дискретизации расчетной модели и отличаются от результатов расчета по СНиП [1].
3. Для оценки несущей способности каменных конструкций необходима разработка методики анализа результатов расчета для всех видов напряженно-деформированного состояния кладки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 СНиП II-22-81. Каменные и армокаменные конструкции. Нормы проектирования. /Гострой СССР. - М.: Стройиздат, 1983.
- 2 ПК ЛИРА, версия 9. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций. Справочно-теоретическое пособие под ред. Академика АИН Украины А.С. Городецкого К.-М.:2003.-464с.:ил.

А.Ф. Осипов, С. Ф. Акимов

Киевский Национальный университет строительства и архитектуры

Исследование и обоснование рациональных методов реконструкции жилых зданий

Описаны варианты, которые можно положить в основу создания и обоснования методов обеспечивающих решение вопроса выбора рациональных организационно-технологических решений комплексно на всю единую систему разнообразных монолитных конструкций.

реконструкция, историческая застройка, жилые здания, технологические варианты, монолитные конструкции

Реконструкция жилых зданий исторической части крупных городов Украины актуальна не только по ее высокой инвестиционной привлекательности, но и в связи с довольно высоким физическим и моральным износом зданий [1]. Техническое состояние основных несущих и ограждающих конструкций зданий, уровень их инженерно-технического оснащения и благоустройства не отвечает современным требованиям. Учитывая историческую ценность таких зданий, зачастую довольно высокую капитальность, можно утверждать, что наиболее целесообразным методом повышения эксплуатационных показателей этих зданий является их реконструкция, и это подтверждается сложившейся практикой и масштабами реконструкции зданий в г. Киеве.

Наиболее часто при реконструкции жилых зданий применяется повышение этажности здания надстройкой этажей. Натурное обследование фундаментов и стен многих зданий исторической застройки свидетельствует об определенном резерве их несущей способности, что создает принципиальную возможность увеличения их высоты без ущерба для эксплуатационной надежности.

На основании проведенного анализа опыта реконструкций зданий в г. Киеве, научно-исследовательских работ и научно-технической литературы [1], можно сделать заключение, что имеющееся научно-методическое обеспечение позволяет с достаточным уровнем эффективности находить рациональные организационно-технологические решения для возведения отдельных монолитных конструкций и групп, содержащих однотипные конструкции как вновь возводимых, так и реконструируемых объектов.

В соответствии с этим, на каждый вид возводимых монолитных конструкций, рядом научных коллективов разработаны организационно-технологические схемы производства работ, схемы комплексной механизации, а также технологические комплекты машин для производства специализированных потоков работ [2].

Однако сложность задачи заключается в том, что при реконструкции даже отдельных объектов, необходимо обеспечить возведение весьма широкой номенклатуры разнообразных монолитных конструкций. При этом такие конструкции, как правило, отличаются многообразием видов, форм и конструктивных параметров, а часто и условиями производства работ. Поэтому, как правило, возможные рациональные организационно-технологические решения отличаются своей сложностью и индивидуальностью, что является причиной довольно низкого уровня эффективности строительного производства в этих условиях.

Повышение эффективности строительного производства в условиях реконструкции жилых зданий предполагает, применение стабильного состава исполнителей, оптимального количества применяемых машин и оборудования, учет динамики (неравномерности) выполнения, как отдельных процессов, так и комплексного процесса возведения совокупности разнообразных монолитных бетонных и железобетонных конструкций. Выбор и обоснование возможных рациональных организационно-технологических решений возведения совокупности разнообразных конструкций и методов производства строительных процессов усложняется многовариантностью параметров конструкций и условий производства работ.

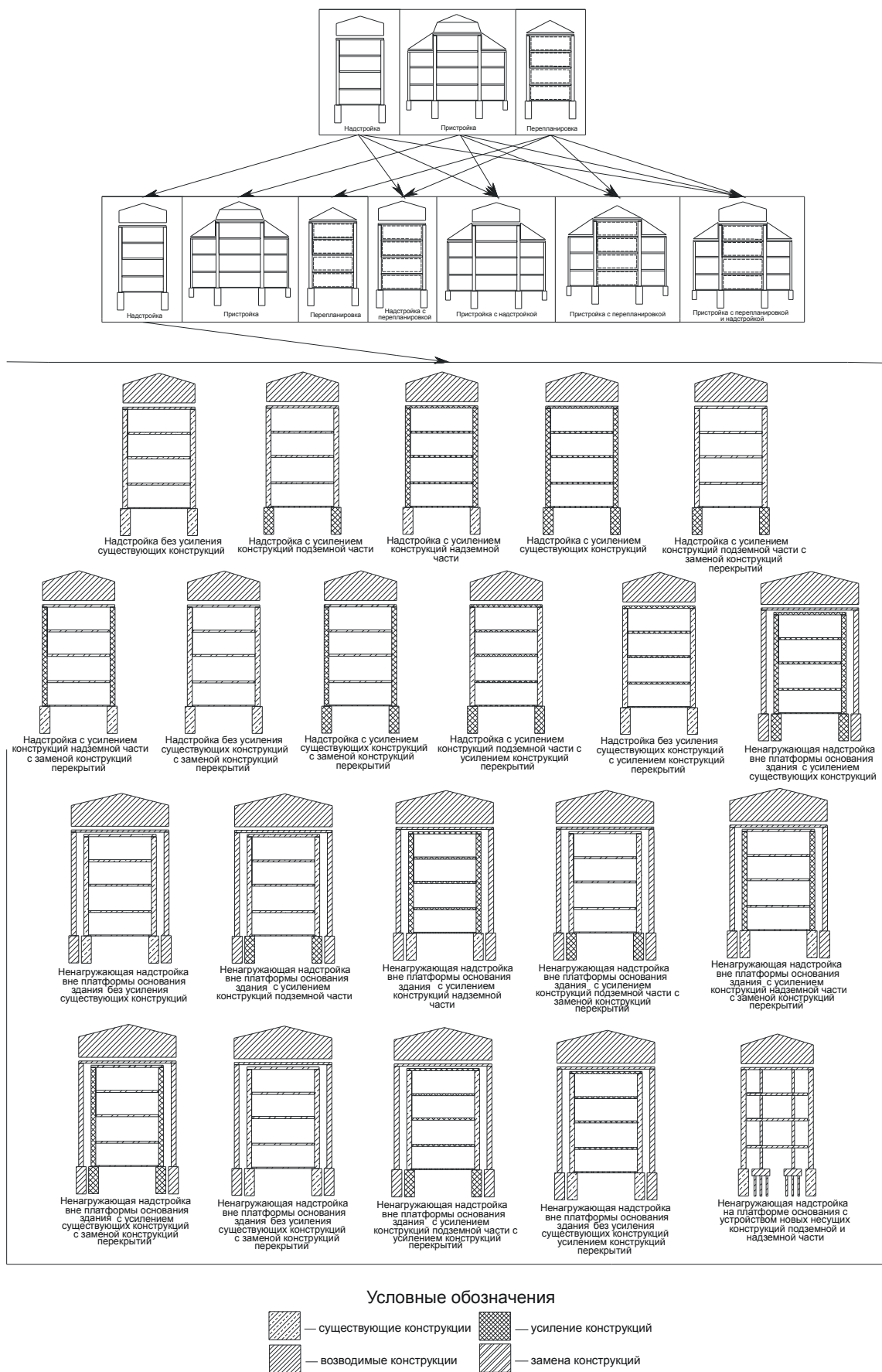


Рис. 1. Технологические варианты надстроек с различными сочетаниями усиливаемых конструкций

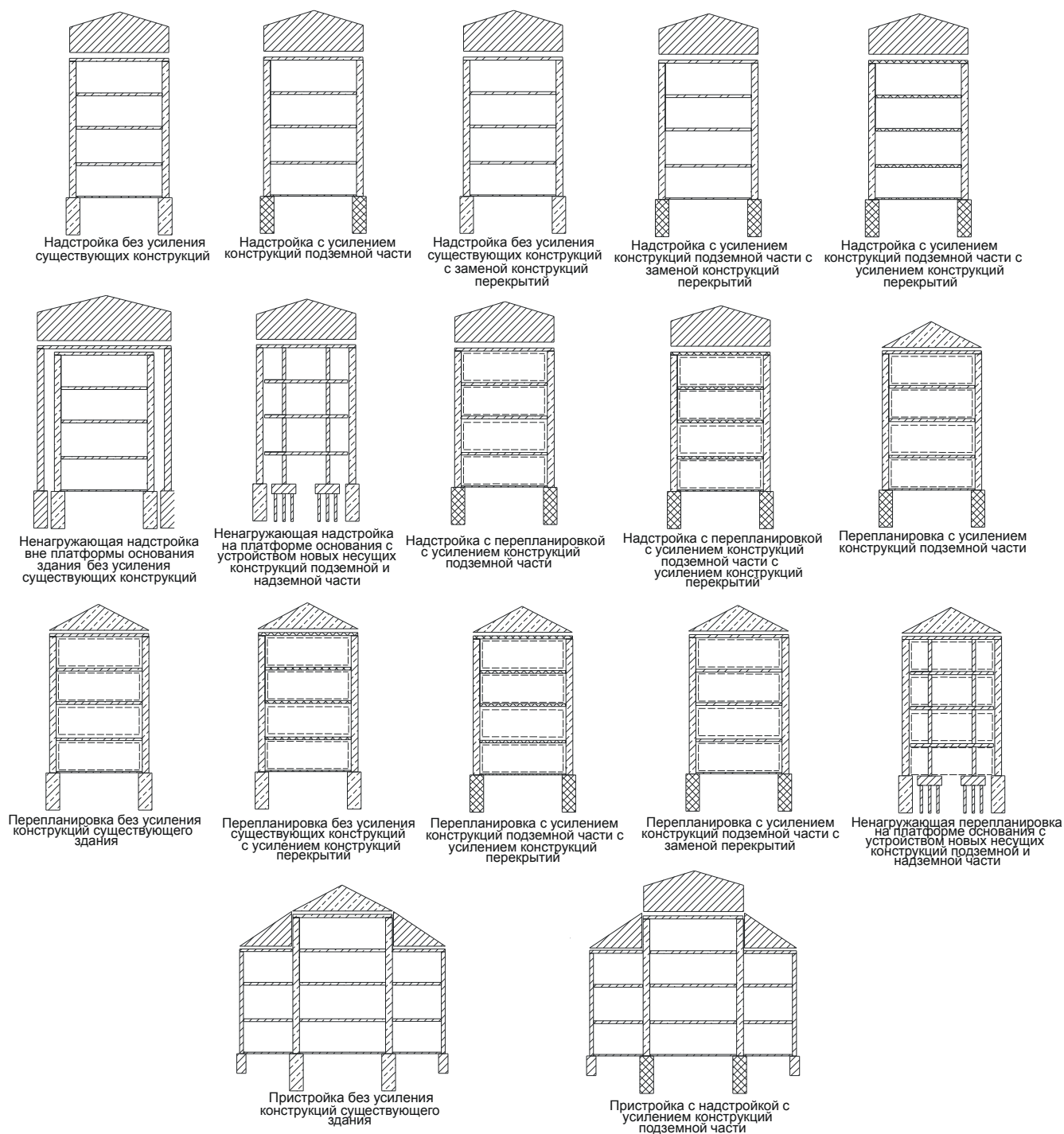


Рис. 2. Технологические варианты реконструируемых жилых зданий

Поэтому необходимо иметь методы, обеспечивающие решение вопроса выбора рациональных организационно-технологических решений комплексно на всю единую систему разнообразных монолитных конструкций, что обеспечивает рациональное использование средств механизации и оборудования, снижения материалоёмкости опалубочных работ, а также трудовых затрат при выполнении строительных процессов. Таким образом, речь идет о необходимости создания и применения комплексного организационно-технологического обеспечения возведения системы разнообразных монолитных конструкций реконструируемых жилых зданий.

Первым этапом в построении и описании технологических схем, является формирование технологических вариантов, с помощью которых можно проанализировать производственную ситуацию, возникшую в настоящее время при реконструкции зданий исторической застройки.

Объем статьи не позволяет подробно описать все разнообразие видов реконструкций с различными технологическими вариантами, поэтому на рис. 1, показана часть технологических вариантов, а именно, все встречающиеся при реконструкции жилых зданий надстройки с различными сочетаниями усиливаемых конструкций. В связи с тем, что большое количество технологических вариантов очень редко встречается при реконструкции жилых зданий, возникла необходимость в унификации целого ряда технологических вариантов с целью сведения их количества к обоснованному минимуму, охватывающих основные виды технологических ситуаций. На рис. 2 показано, что из всего многообразия технологических вариантов по результатам выполненного обследования объектов-представителей, наиболее часто встречаются при реконструкции жилых зданий исторической застройки 17 основных технологических вариантов.

По результатам проведенных исследований можно выделить следующие методы реконструкции жилых зданий:

- надстройка зданий, с усилением конструкций перекрытий, конструкций подземной части, а также с заменой конструкций перекрытий;

- надстройка проводится без усиления несущих конструкций;
- надстройка с полной заменой внутренних несущих конструкций, с устройством новых несущих конструкций подземной и надземной части;
- надстройка с перепланировкой;
- перепланировка зданий, с теми же сочетаниями видов усиления и замены несущих конструкций, что и в надстройке;
- пристройка без усиления существующих конструкций;
- пристройка с надстройкой с усилением конструкций подземной части.

ВЫВОДЫ

Таким образом, рассмотренные варианты можно положить в основу создания и обоснования методов, обеспечивающих решение вопроса выбора рациональных организационно-технологических решений комплексно на всю единую систему разнообразных монолитных конструкций, что позволит повысить эффективность использования средств механизации и оборудования, снизить трудоемкость, материалоёмкость и себестоимость производства комплекса строительно-монтажных работ при возведении монолитных конструкций, повысить производительность труда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Осипов А. Ф., Акимов С. Ф. Особенности объемно-планировочных и конструктивных характеристик реконструируемых жилых зданий г. Киева. – Симф.: Строительство и техногенная безопасность, вып. № 6, 2002. с. 260-265.
2. Беляков Ю. И., Осипов А. Ф., Романушко Е. Г. и др. Организационно-технологические правила производства бетонных и железобетонных работ по устройству фундаментов и заглубленных сооружений при реконструкции промышленных объектов. – Киев: КИСИ, 1986. – 212 с.

В.А. Пермяков

Киевский национальный университет строительства и архитектуры.

С.Г. Ажермачёв

Крымская академия природоохранного и курортного строительства

Усталостная прочность сварных конструкций стальных морских платформ

Рассматриваются факторы, влияющие на усталостную прочность сварных конструкций морских платформ. Дается оценка влияния этих факторов на долговечность сварных соединений. Указываются пути повышения усталостной прочности сварных конструкций морских платформ.

концентратор напряжений, разрушение, сварной шов, начальные напряжения, растяжение, долговечность.

Конструкции морских платформ для разведки и добычи углеводородов на континентальном шельфе постоянно подвергаются динамическим воздействиям от технологических нагрузок, воздействия ветра, волн, навала судов и т. п.

Долговечность этих конструкций, а они, как правило, изготавливаются сварными, зависит от многих факторов, основными из которых являются:

- концентрация напряжений, создаваемая при неудачном проектировании и изготовлении;
- изменение свойств металла в околошовных зонах сварных соединений;
- остаточные напряжения, появляющиеся в результате сварки;
- воздействие окружающей среды;
- абсолютные размеры элементов и т. д.

Очагами усталостных разрушений конструкций, как правило, являются места резкого изменения формы элементов, создающие местное повышение напряжений [1,2]. (Рис. 1).

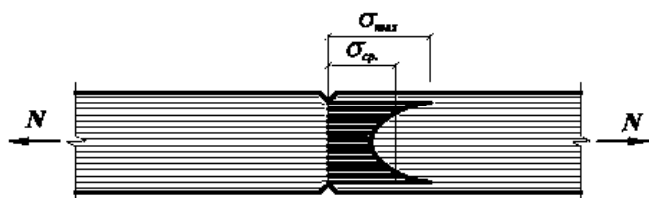


Рис. 1. Схема изменения силового потока и распределения нормальных напряжений при растяжении пластины с боковыми надрезами.

Напряжение в месте надреза, вычисленное по формулам сопромата без учёта концентрации напряжений, равняется $\sigma_{ср}$. Однако фактические напряжения в зоне надрезов значительно больше, чем среднее напряжение, т.е. $\sigma_{max} > \sigma_{ср}$.

При упругом распределении напряжений в пластине отношение $\frac{\sigma_{max}}{\sigma_{ср}} = k$ называется коэффициентом концентрации.

В сварных соединениях с необработанной после сварки поверхностью также имеет место концентрация напряжений в результате образовавшейся формы поверхности или в результате образовавшихся дефектов. Зарождение усталостных трещин в сварных соединениях начинается в зонах перехода металла шва к основному металлу [3]. Поверхности усталостных изломов в стыковых и угловых лобовых швах сварных соединений почти всегда ориентированы перпендикулярно к направлению усилий. На рис. 2, 3, 4, 5 показаны некоторые случаи распределений фактических нормальных напряжений в сварных соединениях.

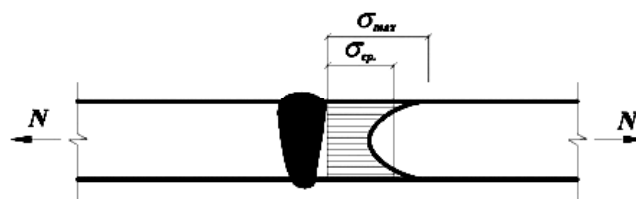


Рис. 2.

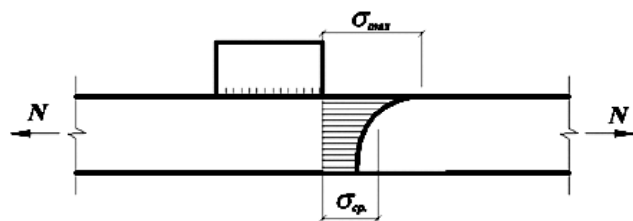


Рис. 3.

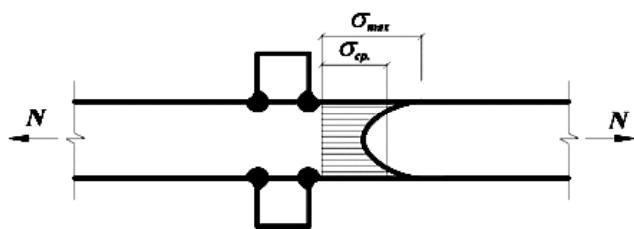


Рис. 4.

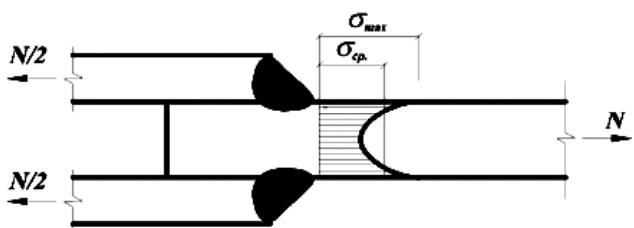


Рис. 5.

Значение коэффициента концентрации напряжений $k = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{cp}}$ в реальных соединениях

нельзя получить методами сопротивления материалов, приближённо можно получить для некоторых типов методами теории упругости, но более точно значение коэффициента концентрации можно получить экспериментально [4,5].

В процессе сварки происходит нагрев и затем охлаждение металла соединяемых элементов. В результате в околошовной зоне изменяется структура и химический состав металла. Эти изменения могут привести к упрочнению или разупрочнению металла околошовной зоны. В малоуглеродистых сталях

наблюдается повышение предела текучести и прочности на 10-20% по сравнению с основным металлом.

Для сталей повышенной и высокой прочности такой чёткой картины не наблюдается. Изменение предела текучести и временного сопротивления может наблюдаться как в одну, так и в другую сторону. Объясняется это структурной и химической неоднородностью металла, возникающей вследствие термического влияния.

В результате воздействия высоких температур в основном металле, в зоне термического влияния, после остывания могут наблюдаться остаточные напряжения, значение которых может достигать предела текучести [6,7]. Суммируясь с напряжениями от внешней нагрузки, они могут привести к снижению усталостной прочности, особенно если остаточные напряжения являются растягивающими. Если остаточные напряжения сжимающие, то предел усталости может возрасти.

Степень снижения усталостной прочности при наличии остаточных растягивающих напряжений в первую очередь зависит от асимметрии цикла и вида сварного соединения. Наиболее опасен симметричный цикл нагружения, а сварные соединения с угловыми фланговыми швами, где на концах швов всегда наблюдается максимальное значение остаточных напряжений.

Стальные конструкции морских платформ постоянно подвержены воздействию коррозионной среды (морская вода, морская атмосфера и т. д.). Одновременно конструкции (и сварные соединения) подвержены динамическим воздействиям от воздействия волн, технологических воздействий, навала судов и т. д. В этих условиях сопротивление усталостным разрушениям металла и сварных соединений резко снижается [8]. Снижение усталостной прочности в агрессивной среде зависит от её концентрации и длительности воздействия. С целью уменьшения отрицательного влияния коррозии на сопротивление усталости сварных конструкций, эксплуатируемых при переменных нагружениях, на них необходимо наносить эффективные покрытия или предусматривать электрозащиту.

Наибольшей сопротивляемостью усталостным разрушениям обладают стыковые свар-

ные швы, выполненные без дефектов. Стыковые сварные соединения с дефектами, выполненные электродами с основным покрытием, показывают более высокую усталостную прочность, чем сваренные электродами с рутилокарбонатным покрытием.

Продольные швы, пересекая поперечные, изменяют картину распределения остаточных напряжений. В местах пересечения образуются зоны повышенных растягивающих остаточных напряжений, которые резко снижают усталостную прочность сварного соединения.

Как отмечалось выше, наиболее низкую усталостную прочность имеют сварные соединения с фланговыми швами, так как они создают наибольшую концентрацию напряжений у концов швов. Усталостные трещины в таких соединениях, как правило, появляются в основном металле у концов швов. Добавление лобового шва в соединении внахлестку несколько повышает его усталостную прочность. Это объясняется снижением концентрации напряжений вследствие более равномерного распределения силового потока.

Усталостная прочность сварных соединений зависит от многих факторов, однако два фактора являются определяющими:

- концентрация напряжений;
- наличие полей остаточных напряжений, возникающих в результате сварки.

Снижения концентрации напряжений можно иногда добиться созданием более плавного силового потока с одного элемента на другой; обеспечением полного провара; обваркой элементов по контуру; устройством выкружек, скосов и т. д. В практике изготовления сварных соединений получила распространение механическая обработка абразивным инструментом или специальными фрезами. При этом следы обработки рекомендуется направлять вдоль действующих в элементах конструкции усилий.

Наибольшее повышение усталостной прочности наблюдается у стыковых сварных соединений (рис. 2) после зачистки усиления шва заподлицо с основным металлом. В этом случае предел усталости практически приближается к пределу выносливости основного металла.

Механическая обработка сварных соединений других видов даёт значительно меньший эффект. Усталостная прочность сварных соединений встык (рис. 4) и соединений с лобовыми швами (рис. 5) после обработки может возрасти на 20-30%. Для соединений с лобовыми швами необходимо обеспечивать более глубокий провар корня шва, увеличение размеров и пологости шва с последующей механической обработкой соединения.

Механическая обработка фланговых швов в соединениях внахлестку не приводит к повышению усталостной прочности соединения. Наиболее эффективными мерами, повышающими усталостную прочность соединений с фланговыми швами, являются меры с изменением или снятием полей остаточных напряжений в зонах высокой концентрации напряжений.

Снятие или частичное изменение полей остаточных напряжений можно решать несколькими путями.

1. Термообработка в виде высокого отпуска с одновременной перегрузкой. Целесообразность применения высокого отпуска зависит от значения растягивающих остаточных напряжений, асимметрии цикла, вида соединения и характера передачи усилия. Этот вид термообработки требует специальных установок и для конструкций морских стальных платформ применяется крайне редко для особо ответственных стальных узлов (сварные узлы опорных блоков и др.).
2. Предварительная перегрузка (тренировка) конструкций позволяет достаточно просто и эффективно повысить усталостную прочность соединения. Под действием небольшой перегрузки в зонах концентраторов напряжений возникают напряжения, близкие или равные пределу текучести, а после снятия нагрузки в этих зонах появляются напряжения сжатия. В результате усталостная прочность сварного соединения может повыситься на 20-50%.

Однако, такая перегрузка в отдельных случаях может привести к снижению хладостойкости соединений. Это необходимо

иметь в виду для конструкций, эксплуатируемых при низких температурах.

Весьма эффективным способом создания зон сжимающих остаточных напряжений в местах высоких концентраторов напряжений является поверхностная дробеструйная обработка или пневматическая чеканка. Этот способ может повысить усталостную прочность сварных соединений на 20-40%.

Усталостная прочность элементов с приваренными фасонками и косынками (См.рис. 3) может быть повышена путём создания сжимающих остаточных напряжений в зоне концентраторов напряжений путём точечного нагрева (рис. 6).

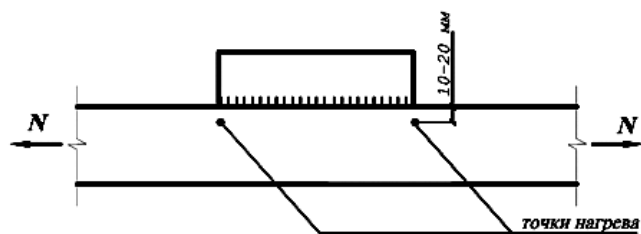


Рис. 6.

Наибольший эффект получается тогда, когда точка нагрева располагается на одной прямой с концентратором напряжений, расположенным перпендикулярно к растягивающему усилию N . Точка нагревается до температуры 300-500° С в течение 1-2 минут. Такое мероприятие может повысить усталостную прочность в 1,5-2 раза.

Повышая усталостную прочность сварных конструкций тем или иным способом, необходимо помнить, что при этом происходит изменение напряжённого состояния и пластических свойств металла в зонах концентраторов, а это

при понижении температуры в отдельных случаях может приводить к хрупкому разрушению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Механика разрушения и прочность материалов. Справочное пособие. В 4т. Под ред. В.В. Панасюка,- Киев: Наукова думка.1988.-Т.1.-487 с.
2. Трощенко В.Т., Сосновский Л.А. Сопротивление усталости металлов и сплавов. Справочник. Ч.1,2.-Киев: Наук. думка.1987.- 1304 с.
3. Ирвин Дж., Парис П. Основы теории роста трещин и разрушения //Разрушение. В 7 т. Т.3. Инженерные основы и воздействия внешней среды. М.: Мир. 1976.- 397 с.
4. Финк К., Рорбах Х. Измерение напряжений и деформаций. М.: Машгиз. 1961.- 535 с.
5. Ажермачев Г.А. Исследование строительных конструкций методом хрупких лаковых покрытий // Сборник научных трудов. КАПКС. Строительные конструкции и материалы.- Симферополь, 1997. с 77-79.
6. Иванов С.Н., Павлов В.Ф. Влияние остаточных напряжений и наклепа на усталостную прочность //Проблемы прочности.-1976 - № 5. с 25-27.
7. Павлов В.Ф. Влияние на предел выносливости величины и распределения остаточных напряжений в поверхностном слое детали с концентратором. // Известия ВУЗов. Сер. Машиностроение. 1988-№8. с 22-28.
8. Олейник Н.В., Магденко А.Н., Скляр С.П. Сопротивление усталости материалов и деталей машин в коррозионных средах.- Киев: Наук. думка. 1987.-200 с.

А.А. Сафонов

Крымская академия природоохранного и курортного строительства

О дальнейшем совершенствовании жилищного строительства в Крыму

Выявлены современные требования, которым не удовлетворяет архитектура семейных жилых ячеек советского времени. На основе изучения начальной стадии зарождения жилых форм в Крыму и анализа последующих их эволюционных преобразований определены наиболее рациональные направления совершенствования архитектуры современного жилища в Крыму

жилище, архитектура, комфорт, экологическая гармония

В восьмидесятих годах прошлого столетия в бытовом сознании жителей Крыма прочно утвердилось представление об эталоне современного жилища в виде благоустроенной городской квартиры или усадебного дома колхозника. Правила посемейного заселения жилых ячеек устанавливали в соответствии со статьей 16 Кодекса о браке и семье Украинской ССР. Этим документом членами семьи ответственного квартиросъемщика признавались супруги (супруг), их дети и родители. Другие родственники вселялись в квартиру в исключительных случаях, если родственные отношения подтверждались юридически (усыновление, опека и т.п.). Принятый регламент позволил установить норму площади квартиры на одного человека и унифицировать жилые ячейки. Они предназначались для быта и отдыха семей, всякая производственная деятельность исключалась. В рамках планово-распределительной системы, господствовавшей в то время в Крыму, удавалось обеспечить социальную справедливость при распределении жилья. При переходе к рыночной экономике выявились недостатки сложившейся практики решения жилищной проблемы. На смену обезличенным государственным и общественным фондам приходят частные капиталы. Раньше получатель квартиры или усадебного дома рассматривал их, как подарок за добросовестный труд на общественном поприще, поэтому безропотно соглашался и с административным определением состава его семьи и с усредненным уровнем комфортности жилища. В новых условиях интересы застройщика или квартиросъемщика становятся приоритетными, из обезличенного среднестатистического жителя он превращается в конкретного адресного потребителя. Застройщик желает за свои кровные иметь крышу над головой в соответствии с собственными представлениями о количественных и качественных характеристиках жилища. Отказ от сложившихся стереотипов сегодня очевиден: для одних он стал недостижим из-за низких до-

ходов; других не удовлетворяет качественная сторона; третьих не устраивают ни количественные, ни качественные показатели привычных типовых квартир. Общество оказалось не готовым к решению жилищных проблем в новых условиях.

Самодеятельное строительство в поселениях Крыма в последние годы принимает формы не управляемого стихийного процесса. Нередко новая застройка представляет собою хаотичную компоновку случайных объемов. Порой фешенебельные особняки соседствуют с убогими лачугами, которые трудно назвать современным жилым домом.

Меняется демография и образ жизни семей, что отражается на требованиях, предъявляемых к жилищу [1].

В связи с распадом колхозов и совхозов в Крыму на крестьянских подворьях, на усадебных и садово-огородных участках в последние годы производится около 70% сельскохозяйственной продукции [2]. Личные подсобные хозяйства были традиционными не только в селах, но и в городах Российской империи до начала XX в. [3]. В современных условиях для многих семей личные хозяйства стали единственным местом приложения труда по производству продуктов для собственного потребления и реализации. В этой связи предпочтение отдается малоэтажной застройке с усадебным участком.

Изменения требований к жилищу обусловлены самыми разными факторами, которые со временем меняются [4].

Смена требований к жилищу диктуется сегодня следующими преобразованиями: существенными расхождениями уровней доходов; изменениями демографии и образа жизни семей; совмещением производственных функций с жизнедеятельностью семей в пределах жилой ячейки.

Большая Советская Энциклопедия дает следующее определение: «Семья - основанная на браке или кровном родстве группа, члены которой связаны об-

пностью быта, взаимной моральной ответственностью и взаимопомощью...». Выше названная статья жилищного законодательства противоречит этому определению.

Возвращение к естественным формам семейных отношений вполне логично, требует модернизации жилых ячеек советского времени.

Производственная деятельность членов семьи в пределах жилища также явление не новое. Накануне революционных событий дома работали не только мастеровые и торговцы, но и представители интеллигенции. Например, в Симферополе до настоящего времени сохраняется дом врача Левина, где хозяин принимал больных и проводил лечебные процедуры. В доме устроены специальные помещения с ваннами. Частный учитель Макурин вел занятия в собственном доме и т.д.

Анализ типологических особенностей жилища в характерных природно-климатических районах Крыма на различных этапах их исторического развития позволил выявить ключевые точки общественно-экономических преобразований, которые принципиально меняли требования к жилищу, его формированию и функционированию; высказать версию о возникновении и последующем развитии экологической дисгармонии жилой среды; наметить направления эволюционных преобразований жилища, с целью выявления закономерностей этих преобразований и их использования для совершенствования жилой среды современных поселений Крыма.

В эпоху «охоты и собирательства» (до IX тысячелетия до н.э.) [5] человек вёл кочевой образ жизни, его жилище мобильно, геометрические параметры и комфорт обеспечивают минимальные условия для выживания. Оно замыкается на потребности человека и не имеет устойчивой, явно выраженной связи с окружающей природной средой. Если за время стоянки экологическое равновесие нарушается, то за период межстояночного цикла изначальное положение, как правило, восстанавливается. У народов ведущих кочевой образ жизни этот принцип создания и эксплуатации жилища сохраняется по сей день.

При переходе на оседлый образ жизни (VIII тысячелетие - первая половина II тысячелетия до н.э.) жилище утрачивает мобильность, территориально фиксируется. И хотя на первых порах оно также обеспечивает минимальные условия для выживания, но уже в ограниченном пространстве конкретного природного окружения. От состояния этого окружения зависит благополучие человека и он вынужден сохранять его и совершенствовать. Жилище становит-

ся звеном, элементом природной жизни. Селянин или народный зодчий эмпирически определяет предел разумного вторжения в природную среду. Его жилище гармонично функционирует лишь в данной системе и, как правило, непригодно для использования в иных природно-климатических условиях. Аборигенные племена, обитавшие в указанное время на территории Крыма, строили жилища со своими характерными особенностями. Эти отличия, как правило, обусловлены природно-климатическими характеристиками района стабильного проживания племени [6].

Основную направленность всех последующих преобразований жилой среды народным зодчим можно сформулировать так: от минимально необходимых условий для выживания к комфорту, который обеспечивает условия для здорового образа жизни человеку с сохранением экологически устойчивого равновесия с окружающей природной средой. Если образ жизни населения на определенном историческом этапе существенно не менялся, и внешние климатические воздействия также оставались стабильными, то жилые постройки, как бы канонизировались и тиражировались. Отличались они обычно лишь декоративным убранством, что создавало иллюзию уникальной неповторимости каждой постройки в исторически формировавшихся поселениях.

Имущественно-правовое деление общества на классы, сословия и т.п. связывают с появлением или активным проявлением человеческих пороков [7]. Борьба с этими пороками призывают искусство, основная задача которого заключается в том, чтобы отвратить человека от зла и пробудить в нем добрые чувства [8]. Именно здесь лежат истоки архитектуры как сферы профессиональной деятельности и вида искусства. Первые теоретики функции архитектуры определили кратким словосочетанием: «удобство, прочность, красота», но эта триада не отражала фактического состояния дел. Усилия архитектора направлены, прежде всего, на поиски художественного образа, способного воздействовать на духовный мир человека с целью его нравственного совершенствования. Равно как и совершенствование всякого архитектурного стиля, направленного на поиски абсолютного эстетического идеала или способа его создания. Природная же среда рассматривалась как вспомогательное средство, визуально входящее в ансамбль сооружения [9].

Впервые попытка перевести массовое жилищное строительство из самодеятельного народного зодчества в сферу профессиональной

архитектуры была предпринята во времена петровских реформ. Лучшими представителями русского классицизма того времени разрабатываются образцовые (типовые) проекты домов для разных сословий горожан и сельских жителей.

Но рядовые застройщики категорически отказывались строить по этим проектам, было найдено компромиссное решение. Уличные фасады создаются по типовым проектам, а сам дом на «волну» застройщика. Этот вариант не встретил возражения, поскольку он касался, главным образом, эстетической стороны. А здесь и модульные системы и композиционные приемы классицизма и русского народного зодчества оказались настолько идентичными, что академик К.Н. Афанасьев эмпирически найденные закономерности в русском народном зодчестве назвал «Витрувий без Витрувия», поэтому национальные фильтры легко пропускали преобразования, не касавшиеся функциональных и технических вопросов создания народного жилища [10].

Объемно-планировочные решения вырабатываются под влиянием природно-климатических факторов и носят локальный характер. Проведенные нами исследования застройки Симферополя первой половины XIX в. это подтверждают. В советское время создание типовых глобально применяемых жилых ячеек стало возможно, т.к. они строились без участия будущего потребителя и последующая их эксплуатация происходила с использованием искусственных систем жизнеобеспечения. Львиная доля этих расходов покрывалась за счет общественных фондов.

Ф.И. Достоевский о творчестве А.С. Пушкина сказал, что он впервые заговорил о народе, для народа и на языке, понятном народу.

В советское время впервые практически вся архитектурно-строительная деятельность переместилась в профессиональную сферу творчества архитектора, т.е. формально во благо всего народа. Фактически же, по названным выше причинам, стандартные жилые ячейки советского времени не удовлетворяют сегодня всех граждан. Ситуация усугубилась тем, что утрачены традиции. Архитекторы на местах, привыкшие пользоваться общегосударственными нормами и стандартами, как правило, этих традиций не знают. Самодеятельные же создатели собственного жилища также копируют жилые

ячейки советского времени с некоторыми их модификациями.

ВЫВОДЫ:

1. Трудности исследований систем жилых образований связаны с их многоэлементностью и изменчивостью в пространстве и во времени. Опыт народных зодчих, наработки, прошедшие проверку временем, могут оказать неоценимую услугу. Направленность этих исследований следует переориентировать с чисто эстетических на более сложные, связанные с совершенствованием комфортности жилой среды отдельной жилой ячейки до поселения с прилегающими естественными природными территориями.
2. В условиях формирующегося рынка жилища запросы потребителя следует подвергать профессиональной экспертизе, в последующем они должны быть сбалансированы с интересами создателей жилой среды и максимально учтены.
3. На современном этапе застройки поселений Крыма предпочтительнее малоэтажные семейные жилые дома. Создавать их архитектуру следует с учетом особенностей регионального жилища, выработанного народными зодчими под влиянием природно-климатических факторов данного региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карташова К.К. Отражение в жилище изменения образа жизни семей // Архитектурная наука в МарХИ. Информ. вып. 3. - М.: Издательство «Ладья», 1999. - С. 88-91.
2. Зиновьев Ф.В., Дадонова М.В. Личные подсобные хозяйства сельских жителей Крыма - Симферополь: Таврида. 1999. - С. 27 - 28.
3. Городская среда. Технология развития: Настольная книга // В.Л. Глазьев, М.М. Егоров, Т.В. Ильина и др. - М.: Издательство «Ладья», 1995.-С. 232.
4. Запороженко О.Ю. Формування міської малоповерхової житлової забудови приватної ділянки як структури, що «розвивається»//Сучасні проблеми архітектури та містобудування. вып. 9. - Київ: КНУБА, 2001. - С. 11 - 15.
5. Забнин С.И. Находки каменного века в Крыму. - Известия Таврической ученой архивной комиссии, 1918, № 54, - С. 362 -370.
6. Сафонов А.А. Начальная стадия формирования жилища в Крыму // Изв. вузов. Архитектон. - 1994.- № 3,4.- С. 48-54.
7. Сафонов А.А. От эстетики архитектуры к гармонии зодчества // Строительство и техногенная безопасность. Сборник научных трудов. Симферополь: КАПКС. 2002.- Вып. 7.- С. 93-96.
8. Толстой Л.Н. Полное собрание сочинений. Т.30-М.: Гослитиздат, 1953. -С.129.
9. Сафонов А.А. Архология усадьбы // Изв. вузов. Строительство.-1991.-№ 10. - С. 34-56.
10. Афанасьев К.Н. Витрувий и архитектурно-строительные традиции Древней Руси: В кн. Естественнаучные представления Древней Руси // К.Н. Афанасьев, Ю.Л. Щанова, Е.К. Пиотровская и др. М.: Наука, 1988. - С. 3-11.

Ю.А. Трофимцов

Крымская академия природоохранного и курортного строительства

Колебания простенка при постоянной по модулю восстанавливающей силе

Установлена зависимость периода колебаний от амплитуды и геометрии простенка при постоянной по модулю восстанавливающей силе. Описана приблизительная динамика появления нелинейности в раскачивании простенков.

простенок, нелинейные колебания, квазиупругая характеристика, сейсмоизолирующая опора

В [1] рассмотрена работа простенка с горизонтальными трещинами как качающегося сейсмоизолятора. Был исследован частный случай, когда поверхность качения образуется окружностью (квадратной параболой) и простенок совершает гармонические колебания, восстанавливающая сила подчиняется линейному закону, т.е. является упругой.

В общем случае поверхности качения могут иметь разную форму, и их форма может меняться по мере их износа в процессе колебаний. В этом случае восстанавливающая сила будет иметь квазиупругую характеристику, и простенок будет совершать нелинейные колебания.

Квазиупругую характеристику восстанавливающей силы можно задать параболой

$$f = \frac{u}{|u|} k |u|^n, \quad (1)$$

где u – перемещение системы; k и n – коэффициенты, определяющие форму параболы.

Предложенная функция нечетна при любых значениях n . При $n = 1$ зависимость (1) становится

линейной, при $n > 1$ $\left(\frac{d^2 f}{du^2} < 0 \right)$ – мягкой [2].

Жесткая характеристика присуща системам, снабженным упорами, ограничивающими амплитуду колебаний и приводящими к резкому возрастанию восстанавливающей силы при больших перемещениях. В рассматриваемой системе отсутствуют ограничители перемещений, что является основанием для предположения, что ее квазиупругая характеристика будет мягкой, а значение n будет находиться или меняться в пределах от нуля до единицы.

Случай, когда $n = 1$ (гармонические колебания простенка), рассмотрен в [1]. Очевидный интерес представляет рассмотрение другого

предельного случая, когда $n = 0$. Именно этому и посвящена настоящая работа.

При $n = 0$ восстанавливающая сила будет постоянна по абсолютному значению и будет менять свой знак одновременно с изменением знака перемещения.

$$f = \frac{u}{|u|} k. \quad (2)$$

Такие колебания характерны для сейсмоизолирующей опоры, предложенной в [3]. Поверхности качения указанной опоры (рис. 1) включают плоские и криволинейные участки, причем криволинейные участки образованы логарифмическими спиралями, полюса которых расположены в центре опоры.

По определению логарифмическая спираль пересекает все лучи, выходящие из полюса под одним и тем же углом α . Из рис. 1, а видно, что отрезок, соединяющий точки касания поверхностей качения к горизонталям (A и B), проходит через полюс спиралей. Следовательно, угол его наклона к горизонтали α будет постоянным, так же как и угол его наклона к вертикали $\beta = 90^\circ - \alpha$.

Восстанавливающая сила такой системы будет постоянна по модулю и равна:

$$f_r = \frac{u}{|u|} mg \operatorname{tg} \beta, \quad (3)$$

где mg – вес здания, качающегося на указанных опорах.

Теперь рассмотрим процесс раскачивания простенка. Предположим, что первоначально простенок представляет собой прямоугольный блок, заключенный между поясами. При раскачивании средняя часть опорных поверхностей наименее нагружена, поэтому она практически

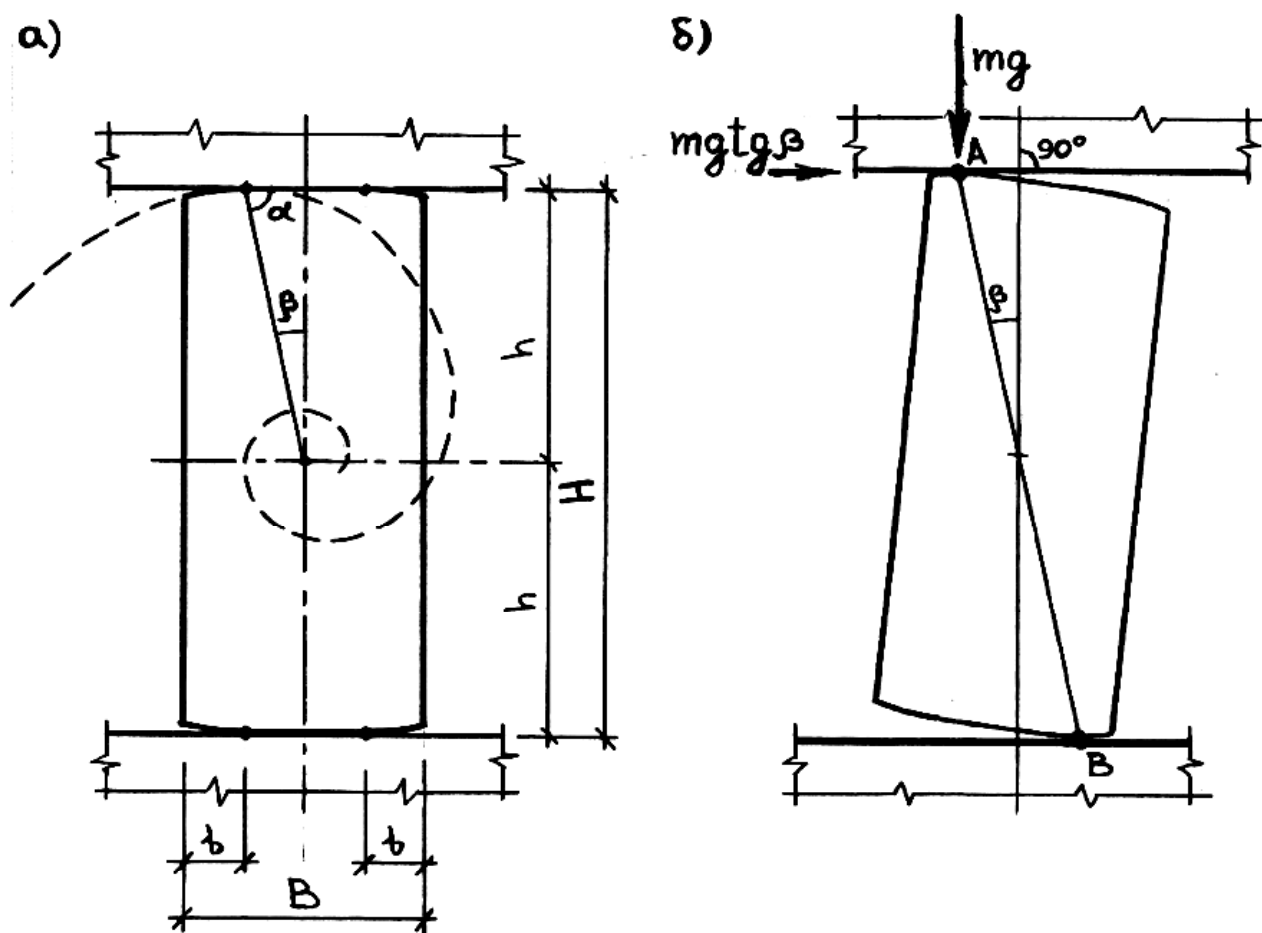


Рис. 1. Качающийся простенок – сейсмоизолятор

а – в состоянии покоя; б – в движении.

не изнашивается и остается плоской. Когда точки качания приближаются к боковым граням – сминающие напряжения резко увеличиваются и вместе с ними увеличивается износ поверхностей качения. По мере раскачивания, простенок приобретает форму, показанную на рис. 1.

Здесь, как и в работе [1], следует отметить, что для того, чтобы простенок работал как сейсмоизолятор, в первую очередь должна быть обеспечена его прочность по главным растягивающим напряжениям в диагональных сечениях.

Колебания предложенной модели могут начаться только тогда, когда возмущающая сила достигнет значения $mg \tan \beta$.

Предположим, что ускорение здания составляет $0,2g$, а ширина криволинейной поверхности (см. рис. 1, а) $b = B/4$. Тогда колебания возможны при $H/B = 2,5$. Очевидно, что данная модель будет работать для относительно высо-

ких простенков и при больших возмущающих силах.

Период свободных колебаний при симметричной квазиупругой характеристике равен [2]

$$T = 2\sqrt{2} \int_0^{u_0} \frac{du}{\sqrt{\int_0^{u_0} \frac{f_n(u)}{m} du}}, \quad (4)$$

где u_0 – амплитуда колебаний.

Подставив (3) в (4) и выполнив интегрирование, получим

$$T = 4\sqrt{\frac{2u}{g \tan \beta}}. \quad (5)$$

Из формулы (5) видно, что период свободных колебаний такой системы будет зависеть от амплитуды. Увеличение периода колебаний вместе с амплитудой является положительным свой-

ством системы как минимум по двум причинам. Во-первых, при переменном периоде невозможен резонанс; во-вторых, рост периода колебаний приводит к снижению сейсмических сил.

Графическая интерпретация формулы (5) приведена на рис. 2.

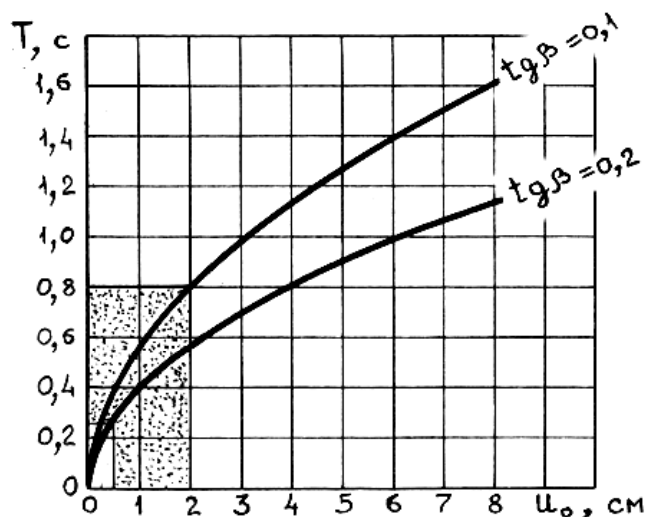


Рис. 2. Зависимость периода свободных колебаний T от амплитуды u_0 и параметра $\operatorname{tg} \beta$ для системы с постоянной по модулю восстанавливающей силой $|f_r| = mg \operatorname{tg} \beta$.

Из рис. 2 видно, что увеличение амплитуды колебаний с 0,5 см до 2 см увеличивает период колебаний в два раза. При этом значения периодов попадают на участок наиболее интенсивного снижения сейсмических сил (п. 2.6, СНиП II-7-81).

Теперь можно предложить следующую динамику раскачивания простенка при землетрясении интенсивностью 7-8 баллов.

I стадия. Малая амплитуда колебаний ($u_0 < 1$ мм). Простенок и все здания работают как монолитная система.

II стадия. С ростом сейсмических сил растет амплитуда колебаний ($u_0 \approx 1 \dots 5$ мм). Простенок отделяется от поясов горизонтальными трещинами и раскачивается. Идет износ поверхностей качения. Ширина трещин растет. Колебания линейные ($n = 1$). Поверхность качения имеет постоянную по ширине простенка кривизну.

III стадия. Вследствие резонанса продолжается рост амплитуд колебаний ($u_0 \approx 5 \dots 10$ мм). Увеличение ширины трещин и кривизны поверхностей качения приводит к росту концентрации сминающих напряжений вблизи боковых граней. Здесь износ идет интенсивней, чем в середине простенка. Кривизна поверхностей качения в местах более интенсивного износа становится больше, чем в середине. Колебания становятся нелинейными. Восстанавливающая сила становится квазиупругой с мягкой характеристикой ($n < 1$). По мере износа крайних участков поверхностей качения n снижается.

IV стадия. Нелинейность колебаний (появление зависимости T от u_0) выводит систему из резонанса. Амплитуда стабилизируется ($u_0 \approx 10 \dots 20$ мм). Продолжается неравномерное уменьшение кривизны поверхностей качения. Квазиупругая характеристика продолжает смягчаться (n уменьшается). Система еще уверенней уклоняется от резонанса.

ВЫВОДЫ

- 1 Анализ двух предельных случаев, ограничивающих зону мягкой квазиупругой характеристики колебаний простенка, позволил в первом приближении проследить динамику раскачивания каменного простенка с горизонтальными трещинами.
- 2 Неравномерный износ поверхностей качения приводит к более уверенному выведению качающегося простенка из резонанса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Трофимцов Ю.А. Влияние трещин в простенках на динамику каменных зданий // Строительство и техногенная безопасность / Сб. науч. тр. – Вып. 7. – Симферополь: КАПКС. – 2002. – С.110-112.
- 2 Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. – М.: Физматгиз, 1963. – 843с.
- 3 Пат. 36347 А Украина, МКП Е 04 Н 9/02. Опора сейсмостійкої будівлі / Ю.А Трофимцов (Украина). - № 99126639; Заявл. 07.12.1999; Опубл. 16.04.2001, Бюл. № 3.-3 с.

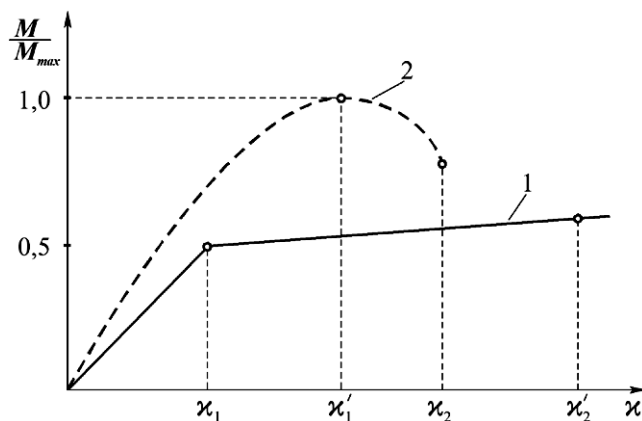
І.О. Узун, А.В. Ковров

Одеська державна академія будівництва та архітектури

Чисельні дослідження напружено-деформованого стану стержневих елементів

Розглядається розрахункова модель деформування залізобетонних елементів, яка дозволяє будувати діаграми згинальний момент - кривизна. Використання діаграм в розрахунках статично невизначуваних стержневих конструкцій дозволяє уникнути недооцінки несучої здатності, визначеної за нормативною методикою, яка складає до 20%.

При навантаженні зі сталою швидкістю деформування зігнутих та позацентрово стиснутих стержневих елементів в бетоні стиснутої зони розвиваються деформації додільної гілки діаграми [1,2]. Наявність додільної гілки в діаграмі $\sigma_b - \varepsilon_b$ обумовлює утворення саме такої гілки у діаграмі момент-кривизна $M - \chi$.



Мал. 1. Діаграма навантаження згинальних елементів $M - \chi$

1 – при $\xi_R < \xi_R$ 2 – при $\xi_R = \xi_R$

Додільна гілка $M - \chi$ проявляється повно при $\xi = \xi_R$. В цьому разі на початку навантаження зігнутий елемент працює пружно. При моменті $M \approx 0,25 M_{max}$ в елементах виникають тріщини, починають проявлятися непружні деформації в стиснутій зоні бетону, жорсткість найбільш напруженого перерізу починає зменшуватися. Коли в арматурі починається текучість, в перерізі утворюється пластичний шарнір.

При незначному збільшенні навантаження в бетоні стиснутої зони і в розтягнутій арматурі продовжують збільшуватися деформації, а висота стиснутої зони зменшується від x_1 до x_2 . Одночасно епюра напружень в бетоні трансформується в криволінійну.

Коли напруження в крайніх волокнах досягають призмової міцності R_b , бетон цих волокон ще не руйнується. В цих (крайніх) волокнах бетону починають розвиватися деформації додільної гілки діаграми $\sigma_b - \varepsilon_b$. Напруження в крайніх волокнах більше не підвищуються, а навпаки, починають знижуватися. Напруження збільшуються по черзі в волокнах, розташованих нижче по висоті перерізу від крайніх волокон до центру ваги рівнодіючої внутрішніх зусиль в стиснутій зоні бетону N_b . Ці напруження більше R_b в 1...1,2 рази [2, 3]. Після досягнення в кожному волокні максимальних напружень в них також розвиваються деформації додільної гілки, одночасно напруження починають зменшуватися. При дотриманні сталої швидкості деформування (зростання прогинів) настає час, коли збільшення прогинів досягається при сталій величині моменту, а потім і при величині моменту, яка зменшується. Після досягнення M_{max} і початку його зниження, висота стиснутої зони збільшується, а z_b зменшується. Коефіцієнт повноти епюри напружень w , зусилля N_b зменшується.

Отже, якщо дотримуватися сталої швидкості деформування зігнутих елементів, то руйнування не настає, мають місце дві величини згинальних моментів: одна в вершині діаграми $M - \chi$, інша на додільній гілці при $0,85 M_{max}$. Першій величині відповідають k_1 , ξ_{bR1} , ξ_{SR1} , а другій – k_2 , ξ_{bR2} , ξ_{SR2} . Кривизна k_2 більше кривизни k_1 в 1,5...2 разів.

При назначеній величині $\xi (\xi < 0,3)$ рано утворюється пластичний шарнір, напруження в бетоні набагато менше R_b . Догірна гілка діаграми $M - \chi$ трансформується в слабо нахилену до осі k лінію. Пластичний шарнір допускає подальше збільшення деформацій (нахил перерізу), супроводиться зростанням деформацій волокон бетону (перерозподіл напружень в стиснутій зоні) і арматурі. Ця стадія роботи відповідає додільній гілці діаграми $\sigma_b - \varepsilon_b$ і площадці теку

чості арматури. При незначному збільшенні навантаження максимальний момент досягається при величині деформацій $\epsilon_b < \epsilon_{bR2}$.

Далі момент $M_{\max}$ підтримується сталим (або незначно збільшується) до моменту досягнення граничного значення деформації ϵ_{bR2} . Кривизна перерізу k_2 в 3...4 разів перевищує кривизну k_1 , обчислену в точці перелому діаграми.

Отримані діаграми $M-k$ використані для визначення змінних величин жорсткості перерізів в кроково-ітераційному методі розрахунку статично невизначуваних стержневих систем. Чисельні дослідження показали, що при навантаженні статично невизначуваної системи виникнення першого пластичного шарніру в опорному чи прольотному перерізі приводить до перерозподілу внутрішніх зусиль і зростання моментів в інших перерізах. Перерізи перших пла-

стичних шарнірів деформуються за додільною гілкою діаграми навантаження – момент. Після утворення останнього пластичного шарніру і досягнення максимальних моментів в перерізах елементів починається розвантаження, усі згинальні моменти змінюються за гілками.

На підставі розглянутої моделі деформування розроблений алгоритм розрахунку і аналізу напружено-деформованого стану стержневих елементів [3].

Чисельні дослідження дозволили уточнити параметри епюр напружень (ω, β, χ) знайти коефіцієнт χ , який враховує вплив градієнтів деформацій на збільшення розрахункового опору бетону.

В таблиці приведенні дані розрахунків по нормативній методиці наведені у роботі [4] та з застосуванням методики автора [3].

Таблиця 1.

Порівняльний аналіз результатів розрахунку несучої здатності залізобетонних елементів за формулами ДСТУ 2.03.01.84 [4] та за формулами автора [3]

Розрахунок за методикою	Вихідні дані		Результати розрахунків			
	R_b ,	A_s ,	ω	β	χ ,	M_u ,
	МПа	см			см	кНм
ДСТУ 2.03.01–84*	17	12,06	1	0,5	1,39	5638
автора [4]	14,5	12,06	0,734	0,415	2,275	5612

Різниця між несучою здатністю відрізняється на 0,3%, в той же час досягнута економія вартості бетону 15% за рахунок зниження класу на 5 МПа.

При розрахунку стержневих статично визначуваних конструкцій з різними висотами стиснутої зони запропонований метод дозволяє визначати послідовність досягнення граничних значень деформацій арматури, бетону за кривизнами нахилених чи додільних гілок діаграм $M-\chi$, які мають різні довжини (Мал.1).

При розрахунку стержневих статично невизначуваних систем з різними відсотками армування перерізів запропонований метод розрахунку використовує діаграми момент-кривизна з нахиленими чи додільними гілками для визначення жорсткостей перерізів на усіх стадіях навантаження.

ВИСНОВКИ.

Застосування запропонованої розрахункової моделі з урахуванням впливу градієнтів деформацій та визначенням жорсткостей перерізів за діаграмами момент-кривизна з нахиленими гілками при $\xi < \xi_R$ дозволяє уникнути недооцінки несучої здатності, визначеної за нормативною методикою. В іншому випадку, при $\xi > \xi_R$ урахування додільних гілок діаграм $M-\chi$ запобігає переоцінці несучої здатності і крихке руйнування конструкцій.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Узун И.А. Реализация диаграм деформирования бетона при однородном и неоднородном напряженных состояниях. Бетон и железобетон – 1991, – №8. – с. 19-20
2. Гуца Ю.П., Летвин Л.Л. К вопросу о совершенствовании расчета деформаций железобетонных элементов. Напряженно-деформированное состояние бетонных и железобетонных конструкций. – М.: НИИЖБ. – 1986. – с. 26-39
3. Узун И.А. Расчет прочности деформативности железобетонных элементов с учетом неравномерности распределения деформаций. Изв. вузов. Строительство. – 1998. – №4-5. – с. 9-14

Раздел 2. Основания и фундаменты, механика и сейсмостойкость

УДК 699.841.624.12

В порядке дискуссии

Г.А. Ажермачёв

Крымская академия природоохранного и курортного строительства

К вопросу применения теории предельной силы землетрясений на скальных породах для повышения сейсмостойкости зданий на слабых грунтах

Рассматривается возможность повышения сейсмостойкости зданий и сооружений на слабых грунтах за счет создания искусственного «скального основания». Показан характер колебания зданий на слабых грунтах. Приводятся данные о минимальных размерах искусственного основания.

сейсмостойкость, сила землетрясения, бальность, колебания, грунт, ускорение

Обеспечение заданной сейсмостойкости зданий и сооружений является сложной инженерной задачей, так как при её решении приходится учитывать многие факторы одновременно:

- возможная максимальная сила землетрясения;
- принятая расчетная схема сооружения должна наиболее близко отвечать конструктивной схеме с учетом воздействия землетрясения;
- достаточно правильно задать сейсмические силы на выбранную расчетную модель;
- произвести расчет сооружения на сейсмические воздействия с учетом линейной и нелинейной работы его элементов;
- оценить инженерный риск и т.д.

Обеспечение сейсмостойкости зданий может быть осуществлено несколькими путями: определением динамической модели сооружения «сооружение–основание», наиболее близко отвечающей работе сооружения в упругой, упруго-пластической стадиях и при полном разрушении; увеличением количества материала в основных несущих конструкциях; использованием скрытых резервов свойств материала и конструкции; введением дополнительных элементов в конструктивную схему здания; ослаблением воздействия колебаний грунтов и др.

Выбранная расчетная модель должна базироваться не только на динамических характеристиках сооружения и основания, но и на поведении отдельных элементов и узлов, входящих в систему, при циклических нагрузках, превышающих нормативные значения. Такая модель должна иметь нелинейные характеристики жесткостей.

Увеличение количества материала в несущих конструкциях не всегда может обеспечить заданную сейсмостойкость здания, так как с увеличением массы сооружения возрастает и сейсмическая сила. Кроме того, с увеличением сечений элементов возрастает их жесткость, что ведет к увеличению коэффициента динамичности и, в конечном счете, к увеличению сейсмической силы. Конечно, сейсмостойкость здания может повыситься.

Использование скрытых резервов материалов и конструкций предусматривает в первую очередь возможность работы материала в конструкции в упруго – пластической стадии, а также применение конструктивных решений, которые бы уменьшили коэффициент динамичности системы.

Уменьшить влияние сейсмической энергии уже подошедшей к зданию можно, применив сейсмозащиту, сейсмопоглотители или гасители колебаний. Иногда эти мероприятия применяются в комплексе.

Однако в первую очередь необходимо учитывать бальность района строительства и грунтовые условия участка, где будет строиться здание.

Бальность района устанавливается по историческим сведениям о прошедших землетрясениях и принимается по наибольшему, наблюдаемому в этом районе. В результате довольно часто случается, что бальность в данном районе устанавливается ниже, чем бальность возможного землетрясения. Так например, случилось при Ашхабадском землетрясении 1948 г., сила которого была 9-10 баллов, в то время как этот район был отнесен к 7 баллам. Подобная картина наблюдалась при Спитакском землетрясении 1988 г. и Сахалинском 1995 г. [1,2]

Анализируя историю землетрясений, можно сказать, что в тех районах, где происходят слабые землетрясения, там возможны и сильные землетрясения. Например, в Ашхабадском регионе на протяжении почти 500 лет не наблюдались сильные землетрясения, а слабые происходили часто. Сейсмологи считают, что чем дольше подготавливается землетрясение, тем сильнее оно может быть.

В будущем ученые смогут более точно определять возможную бальность землетрясения для данного региона, но грунтовые условия всегда будут определяющими при воздействии землетрясений на здания.

Наиболее стабильные показания колебаний дают скальные породы. Экспериментальные наблюдения и теоретические предположения отечественных и зарубежных авторов показывают, что на скальных породах при сильных землетрясениях могут наблюдаться колебания не более 7 баллов, в то время как на песчаных и глинистых могут доходить до 9-10 баллов. [3]

Во время землетрясения здание раскачивается и вызывает значительные амплитуды перемещения основания, и чем слабее грунт, тем больше эти амплитуды.

На скальных основаниях амплитуды будут значительно меньше, и здания на скальных основаниях будут испытывать меньшие амплитуды колебаний.

Чем больше амплитуда колебаний здания, тем больше в конструкциях наблюдаются деформации и, как результат, увеличивается вероятность разрушения. Исключить или полностью уменьшить колебания здания можно, если изолировать его от колебаний грунта. Одним из способов защиты может служить «искусственное скальное основание». Его можно создать, сцементировав основание, превратив его в бетонный блок. Основной задачей здесь будет - определить минимальные размеры этого основания, на который будет опираться здание. Размеры основания можно определить из условия неподвижности его по отношению к качаниям на сейсмической волне. Рассмотрим, какого минимального размера должно быть скальное основание, чтобы здание, построенное на нем, не чувствовало бы больших колебаний, то есть не более, чем при 7 баллах. Для этого воспользуемся теорией предельной силы землетрясений на скальных породах, разработанной в институте физики Земли им. О.Ю. Шмидта [3].

Представим скальное основание в виде параллелепипеда (рис.1) с размерами H , B и L . Пусть этот параллелепипед находится в мягком грунте и центр масс его и центр тяжести здания совпадает, то есть повороты параллелепипеда отсутствуют, а могут быть только вертикальные и горизонтальные перемещения.

Равновесие искусственного основания при действии вертикальной сейсмической волны, инерционных сил и собственного веса запишется:

$$Q - Q \frac{\ddot{V}}{q} = \sigma S, \quad (1)$$

где $Q = HBL\gamma$ - вес основания;

γ - плотность объема основания;

$\ddot{V}$ - ускорение слоя грунта в вертикальном направлении;

q - ускорение силы тяжести;

$S = BL$ - площадь основания параллелепипеда;

Таблица 1

σ - напряжение в проходящей сейсмической волне.

Для нашего случая можем принять $\sigma = 1 \text{ кг/см}^2$. Высоту параллелепипеда найдем из условия, чтобы не было растягивающих напряжений между грунтом и подошвой параллелепипеда.

Для этого воспользуемся уравнением (1).

$$H\gamma(1 - \frac{\ddot{V}}{q}) = \sigma \quad (1')$$

или

$$H \geq \frac{\sigma}{\gamma(1 - \frac{\ddot{V}}{q})} \quad (2)$$

Для определения размеров B и L рассмотрим равновесие системы при горизонтальных сейсмических воздействиях. Запишем уравнение равновесия:

$$Qf - Q\frac{\ddot{U}}{q} = \sigma F, \quad (3)$$

где f – коэффициент трения бетонного основания по грунту;

$\ddot{U}$ – ускорения слоя грунта в горизонтальном направлении;

$F = HB$ – площадь вертикальной грани.

Из уравнения (3) можем получить требуемую длину параллелепипеда:

$$L \geq \frac{\sigma}{\gamma(f - \frac{\ddot{U}}{q})} \quad (4)$$

Примем, что ускорения колебаний грунта в вертикальном и горизонтальном направлениях

равны, т.е. $\ddot{V} = \ddot{U}$.

Численные значения колебаний почвы при землетрясениях от 5 до 10 баллов, диапазон, интересующий строителей, приведены в таблице [4].

Интенсивность в баллах	$\ddot{V}$ см/сек ²	$\dot{V}$ см/сек	X_0 , мм	$E \times 10^{-5}$, эрг/см ²
5	12-25	0,1-0,2	0,5-1	1,1-5,5
6	25-50	2,1-4	1,1-2	5,5-27
7	50-100	4,1-8	2,1-4	27-134
8	100-200	8,1-16	4,1-8	134-670
9	200-400	16,1-32	8,1-16	670-3350
10	400-800	32,1-64	16,1-32	3350-16750

В таблице приняты следующие обозначения:

$\ddot{V}$ - ускорение грунта в см/сек² для периодов от 0,1 до 0,5 сек;

$\dot{V}$ - скорость колебаний грунта в см/сек для периодов от 0,5 до 2 сек;

X_0 - амплитуда смещения центра массы маятника с периодом собственных колебаний 0,25 сек и логарифмическим декрементом затухания 0,5;

E – плотность потока энергии в пункте наблюдения в эрг/см².

Определим минимальные размеры искусственного скального основания (параллелепипеда), расположенного в рыхлых грунтах, где возможны землетрясения силой 9 баллов, снижающего интенсивность колебаний до 7 баллов.

Минимальная высота параллелепипеда (2)

$$H \geq \frac{1 \cdot 10^6}{2.5 \cdot \left(1 - \frac{400}{981}\right)} = 6.76 \text{ м}$$

Минимальная длина параллелепипеда (4)

$$L = \frac{1 \cdot 10^6}{2.5 \cdot \left(0.5 - \frac{400}{981}\right)} = 43.5 \text{ м}$$

В соответствии с теорией предельной силы землетрясений на скальных породах искусственное скальное основание с разме-

рами $H=7$ м, $B=L=45$ м обеспечивает интенсивность сейсмических колебаний не более 7 баллов, в то время как на песчано-глинистых колебания грунтов может достигать до 9-10 баллов.

Методика определения размеров искусственного скального основания проста и заманчива, однако нам не известны работы, в которых бы инструментально подтвердили теорию и в какой степени.

Существует много технических решений, обеспечивающих снижение сейсмических воздействий на здания и сооружения. Рассмотренная выше теория предельной силы землетрясений на скальных породах заслуживает внимания и может быть применена, когда это будет экономически оправдано.

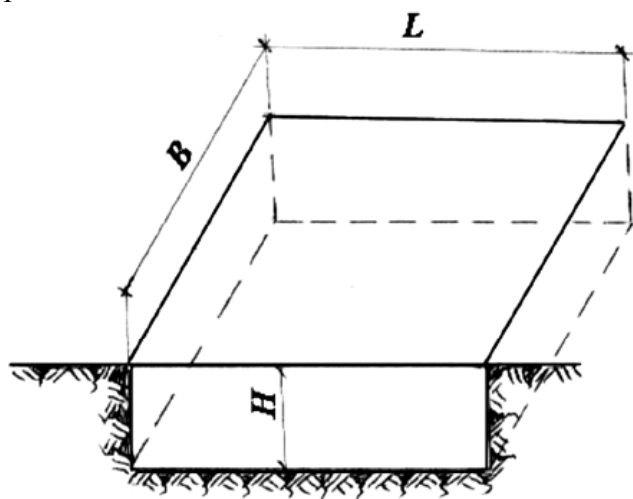


Рис.1. Искусственное основание

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП II-A.12-69* Строительные нормы и правила «Строительство в сейсмических районах» М. 1977 с.54.
2. СНиП II-7-81* Строительные нормы и правила «Строительство в сейсмических районах» М. 1991 с.50.
3. Пучков С.В. Закономерности колебаний грунта при землетрясении. Академия Наук СССР. Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта. «Наука».М. 1974. с.119.
4. Медведев С.В., Карапетян Б.К., Быховский В.А. Сейсмические воздействия на здания и сооружения. М. Гостройиздат. 1968. с. 191

Крымская академия природоохранного и курортного строительства

Модельный математический эксперимент по определению динамических характеристик систем с конечным и бесконечным числом степеней свободы

Собственные частоты, формы колебаний, а также характеристики затухания являются важнейшими динамическими параметрами колебательных систем. Предметом данной статьи является их определение исходя из данных о вынужденных колебаниях системы под действием известной внешней динамической нагрузки.

Рассмотрим систему с конечным числом степеней свободы. Уравнения вынужденных колебаний такой системы с учетом сил сопротивления, пропорциональных первой степени скорости, что достаточно близко соответствует свойствам строительных конструкций, имеют следующий вид [1]:

$$\left\{ \begin{aligned} & \mathbf{a}_{11} \cdot \dot{\mathbf{q}}_1 + \mathbf{a}_{12} \cdot \dot{\mathbf{q}}_2 + \dots \\ & + \mathbf{a}_{1s} \cdot \dot{\mathbf{q}}_s + \mathbf{b}_{11} \cdot \dot{\mathbf{q}}_1 + \mathbf{b}_{12} \cdot \dot{\mathbf{q}}_2 + \dots \\ & + \mathbf{b}_{1s} \cdot \dot{\mathbf{q}}_s + \mathbf{c}_{11} \cdot \mathbf{q}_1 + \mathbf{c}_{12} \cdot \mathbf{q}_2 + \dots + \mathbf{c}_{1s} \cdot \mathbf{q}_s = \mathbf{Q}_1 \\ & \mathbf{a}_{21} \cdot \ddot{\mathbf{q}}_1 + \mathbf{a}_{22} \cdot \ddot{\mathbf{q}}_2 + \dots + \mathbf{a}_{2s} \cdot \ddot{\mathbf{q}}_s + \mathbf{b}_{21} \cdot \dot{\mathbf{q}}_1 + \\ & + \mathbf{b}_{22} \cdot \dot{\mathbf{q}}_2 + \dots + \mathbf{b}_{2s} \cdot \dot{\mathbf{q}}_s + \mathbf{c}_{21} \cdot \mathbf{q}_1 + \mathbf{c}_{22} \cdot \mathbf{q}_2 + \\ & \dots + \mathbf{c}_{2s} \cdot \mathbf{q}_s = \mathbf{Q}_2 \\ & \dots\dots\dots \\ & \mathbf{a}_{s1} \cdot \ddot{\mathbf{q}}_1 + \mathbf{a}_{s2} \cdot \ddot{\mathbf{q}}_2 + \dots \\ & + \mathbf{a}_{ss} \cdot \ddot{\mathbf{q}}_s + \mathbf{b}_{s1} \cdot \dot{\mathbf{q}}_1 + \mathbf{b}_{s2} \cdot \dot{\mathbf{q}}_2 + \dots \\ & + \mathbf{b}_{ss} \cdot \dot{\mathbf{q}}_s + \mathbf{c}_{s1} \cdot \mathbf{q}_1 + \mathbf{c}_{s2} \cdot \mathbf{q}_2 + \dots + \mathbf{c}_{ss} \cdot \mathbf{q}_s = \mathbf{Q}_s \end{aligned} \right. \quad (1)$$

или в сжатой форме:

$$\sum_{k=1}^s (a_{jk} \cdot \dot{q}_k + b_{jk} \cdot \dot{q}_k + c_{jk} \cdot q_k) = Q_j, \quad (2)$$

$$(j = 1, 2, \dots, s)$$

где:

$\mathbf{q}_k, \dot{\mathbf{q}}_k, \ddot{\mathbf{q}}_k$ - соответственно ускорение, скорость и смещение k -й обобщенной координаты, $\mathbf{a}_{jk}$ - квазиинерционные коэффициенты, $\mathbf{c}_{jk}$ - квазиупругие коэффициенты, определяемые выражениями потенциальной и кинетической энергии системы, $\mathbf{b}_{jk}$ - коэффициенты затухания, $\mathbf{Q}_j$ - внешняя нагрузка, соответствующая j -й обобщенной координате.

Допустим, как было сказано выше, что нам известны значения $\mathbf{q}_k(t)$, $\mathbf{q}_k(t)$, $\mathbf{q}_k(t)$ и $\mathbf{Q}_j(t)$ для определенного интервала времени t .

Для определения неизвестных коэффициентов a , b и c воспользуемся методом наименьших квадратов. Условное уравнение получим как сумму квадратов разностей левых и правых частей уравнений (1), приравняваемую к нулю. Найдя частные производные условного уравнения по неизвестным коэффициентам, получим систему нормальных уравнений метода наименьших квадратов для определения неизвестных. Полученные в результате решения системы данные позволяют вычислить собственные частоты системы и соответствующие им формы колебаний.

Описанная методика была опробована на примере системы с $S=8$. Значения коэффициентов системы (1) были взяты произвольно, в качестве внешней нагрузки использована сила, изменяющаяся по гармоническому закону, приложенная по направлению первой степени свободы. Значения ускорений, скоростей и смещений были вычислены путем численного решения полученной системы дифференциальных уравнений (1) на ограниченном интервале вре

мени. В результате применения метода наименьших квадратов были найдены исходные значения коэффициентов с точностью, ограниченной только погрешностью округления при численном решении системы дифференциальных уравнений. Дополнительные численные эксперименты показали, что вид внешней нагрузки и направление ее по различным степеням свободы не влияют на точность расчета.

Полученный результат подтвердил правильность принятой вычислительной схемы. Однако реальные здания и другие инженерные сооружения являются системами с бесконечным числом степеней свободы, так как масса конструкций распределена непрерывно по всей их протяженности. Возникает вопрос относительно возможности получения данных о конечном числе первых собственных частот строительных конструкций при помощи описанной методики вычислений.

В качестве системы с бесконечным числом степеней свободы была взята балка с распределенной массой, шарнирно опертая на концах. Перемещения точек оси такой балки под действием внешней точечной нагрузки, изменяющейся по синусоидальному закону, описываются следующим уравнением, основанным на материалах, представленных в [2]:

$$y(x, t) = \sum_N \left[\frac{F}{m \cdot p_N} \cdot \frac{2 \cdot \sin(k_N \cdot a) \cdot k_N}{(k_N \cdot 1 - \cos(k_N \cdot 1)) \cdot \sin(k_N \cdot 1)} \times \left(\frac{\sin(\omega \cdot t) \cdot (n_N)^2 - 2 \cdot n_N \cdot \cos(\omega \cdot t) \cdot \omega + \sin(\omega \cdot t) \cdot (p_N)^2 - \sin(\omega \cdot t) \cdot \omega^2}{((n_N)^2 + (\omega + p_N)^2) \cdot ((n_N)^2 + (\omega - p_N)^2)} - \frac{\sin(p_N \cdot t) \cdot (p_N)^2 - 2 \cdot n_N \cdot \cos(p_N \cdot t) \cdot p_N - \sin(p_N \cdot t) \cdot (n_N)^2 - \sin(p_N \cdot t) \cdot \omega^2}{((n_N)^2 + (\omega + p_N)^2) \cdot ((n_N)^2 + (\omega - p_N)^2)} \right) - (e^{-n_N \cdot t}) \cdot \omega \cdot \frac{\sin(p_N \cdot t) \cdot (p_N)^2 - 2 \cdot n_N \cdot \cos(p_N \cdot t) \cdot p_N - \sin(p_N \cdot t) \cdot (n_N)^2 - \sin(p_N \cdot t) \cdot \omega^2}{((n_N)^2 + (\omega + p_N)^2) \cdot ((n_N)^2 + (\omega - p_N)^2)} \right] \times \sin(k_N \cdot x) \quad (3)$$

тогда скорости описываются уравнением:

$$\dot{y}(x, t) = \sum_N \left[\frac{F}{m \cdot p_N} \cdot \frac{2 \cdot \sin(k_N \cdot a) \cdot k_N}{(k_N \cdot 1 - \cos(k_N \cdot 1)) \cdot \sin(k_N \cdot 1)} \times \left(\frac{\cos(\omega \cdot t) \cdot \omega \cdot (n_N)^2 + 2 \cdot n_N \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot \omega^2 + \cos(\omega \cdot t) \cdot \omega \cdot (p_N)^2 - \cos(\omega \cdot t) \cdot \omega^3}{((n_N)^2 + (\omega + p_N)^2) \cdot ((n_N)^2 + (\omega - p_N)^2)} + n_N \cdot (e^{-n_N \cdot t}) \cdot \omega \times \left(\frac{\sin(p_N \cdot t) \cdot (p_N)^2 - 2 \cdot n_N \cdot \cos(p_N \cdot t) \cdot p_N - \sin(p_N \cdot t) \cdot (n_N)^2 - \sin(p_N \cdot t) \cdot \omega^2}{((n_N)^2 + (\omega + p_N)^2) \cdot ((n_N)^2 + (\omega - p_N)^2)} \right) - (e^{-n_N \cdot t}) \cdot \omega \times \left(\frac{\cos(p_N \cdot t) \cdot (p_N)^3 + 2 \cdot n_N \cdot \sin(p_N \cdot t) \cdot p_N^2 - \cos(p_N \cdot t) \cdot p_N \cdot (n_N)^2 - \cos(p_N \cdot t) \cdot p_N \cdot \omega^2}{((n_N)^2 + (\omega + p_N)^2) \cdot ((n_N)^2 + (\omega - p_N)^2)} \right) \right] \times \sin(k_N \cdot x) \quad (4)$$

и соответствующие ускорения - уравнением:

$$\ddot{y}(x, t) = \sum_N \left[\frac{F}{m \cdot p_N} \cdot \frac{2 \cdot \sin(k_N \cdot a) \cdot k_N}{(k_N \cdot 1 - \cos(k_N \cdot 1)) \cdot \sin(k_N \cdot 1)} \times \left(\frac{\sin(\omega \cdot t) \cdot \omega^2 \cdot (n_N)^2 + 2 \cdot n_N \cdot \cos(\omega \cdot t) \cdot \omega^3 - \sin(\omega \cdot t) \cdot \omega^2 \cdot (p_N)^2 + \sin(\omega \cdot t) \cdot \omega^4}{((n_N)^2 + (\omega + p_N)^2) \cdot ((n_N)^2 + (\omega - p_N)^2)} - (n_N)^2 (e^{-n_N \cdot t}) \cdot \omega \times \left(\frac{\sin(p_N \cdot t) \cdot (p_N)^2 - 2 \cdot n_N \cdot \cos(p_N \cdot t) \cdot p_N - \sin(p_N \cdot t) \cdot (n_N)^2 - \sin(p_N \cdot t) \cdot \omega^2}{((n_N)^2 + (\omega + p_N)^2) \cdot ((n_N)^2 + (\omega - p_N)^2)} \right) + 2 \cdot (n_N) (e^{-n_N \cdot t}) \cdot \omega \times \left(\frac{\cos(p_N \cdot t) \cdot (p_N)^3 + 2 \cdot n_N \cdot \sin(p_N \cdot t) \cdot (p_N)^2 - \cos(p_N \cdot t) \cdot (n_N)^2 - \cos(p_N \cdot t) \cdot p_N \cdot \omega^2}{((n_N)^2 + (\omega + p_N)^2) \cdot ((n_N)^2 + (\omega - p_N)^2)} \right) - (e^{-n_N \cdot t}) \cdot \omega \times \left(\frac{\sin(p_N \cdot t) \cdot (p_N)^4 + 2 \cdot n_N \cdot \cos(p_N \cdot t) \cdot p_N^3 + \sin(p_N \cdot t) \cdot (p_N)^2 \cdot (n_N)^2 + \sin(p_N \cdot t) \cdot (p_N)^2 \cdot \omega^2}{((n_N)^2 + (\omega + p_N)^2) \cdot ((n_N)^2 + (\omega - p_N)^2)} \right) \right] \times \sin(k_N \cdot x) \quad (5)$$

где : x - расстояние от точки опирания балки, t - момент времени в секундах, N - номер собственной частоты, n_N - коэффициент внутреннего трения, a - расстояние от точки опирания балки до точки приложения нагрузки, ω - частота внешней нагрузки, p_N - собственная частота затухающих колебаний балки, определяемая для балки с шарнирно опертыми концами выражением [2] :

$$p_N = \sqrt{\left(\frac{N^2 \cdot \pi^2}{l^2} \sqrt{\frac{E \cdot J}{m}}\right)^2 - (n_N)^2} \quad (6)$$

k_N - определяется выражением

$$k_N = \sqrt[4]{\frac{m \cdot p_N}{E \cdot J}}, \text{ где } m - \text{погонная масса балки, } E -$$

модуль упругости материала балки, J - момент инерции сечения балки.

Количество собственных частот, учитываемое в расчете, может изменяться. Рассчитана модель двутавровой балки № 20 длиной 10 метров, $J=1840 \text{ см}^4$. В качестве внешней нагрузки выбрана сила, меняющаяся во времени по гармоническому закону, приложенная на расстоянии пяти метров от точек опирания. При этом перемещения точек балки содержат только нечетные номера частот.

В результате расчета по формулам (3, 4, 5) получены данные о движении пяти произвольно взятых точек балки расположенных соответственно на расстоянии 1, 1.5, 3.3, 4.2, 5 м от точки опирания.

Соответствие теоретических частот, полученных из (6) и частот, полученных из данных о движении точек балки методом, описанным выше, приведено в таблице:

Таблица 1

Кол-во учитываемых частот	Номера частот				
	9	7	5	3	1
теоретические частоты	168.42989	101.88968	51.98453	18.71443	2.07938
30 частот	167.94585	101.87513	51.98278	18.71427	2.08026
погрешность %	0.28738	0.01428	0.00337	0.00085	0.04232
20 частот	167.94258	101.8751	51.98277	18.71427	2.08023
погрешность %	0.28933	0.01431	0.00339	0.00085	0.04088
15 частот	167.94657	101.87521	51.98276	18.71427	2.08022
погрешность %	0.28696	0.0142	0.0034	0.00085	0.0404
10 частот	168.37105	101.87664	51.98279	18.71435	2.07938
погрешность %	0.03493	0.0128	0.00335	0.00043	0.0

Погрешность во всех случаях не превосходит одного процента. Использование при расчете движения балки различного числа собственных частот (10, 15, 20, 30) показало, что это слабо влияет на точность определения первых частот. Это связано с быстрым затуханием высоких частот и малыми их амплитудами по сравнению с более низкими частотами.

Полученные в результате второй серии экспериментов результаты показывают принципиальную возможность использования предлагаемой методики для расчета конечного числа первых собственных частот систем как с конечным, так и с бесконечным числом степеней свободы.

Полевой эксперимент по определению динамических характеристик систем с бесконечным числом степеней свободы

В рамках решения задачи об определении собственных частот и форм колебаний материальной системы по ее отклику на внешнее воздействие были поставлен следующий эксперимент.

Он состоял в определении собственных частот и форм колебаний системы с бесконечным числом степеней свободы, в качестве которой была выбрана стальная двутавровая балка с шарнирным опиранием концов. В восьми равномерно распределенных по длине балки точках производилась регистрация скоростей смещения. Колебания балки возбуждались кратковременным приложением силы в середине балки.

Определение собственных частот и форм колебаний производилось при помощи анализа амплитудных и фазовых спектров записей смещений. Записи смещений были получены численным интегрированием велосигналов, записанных в результате эксперимента.

Знак смещения при построении форм колебаний определялся исходя из анализа фазового спектра. В качестве иллюстрации приводим фазовые спектры записей смещений точек балки, расположенных на расстоянии в четверть пролета балки соответственно от правой и левой опор. Из графика отчетливо видно, что колебания на первой и третьей частоте происходят в фазе, а колебания на второй частоте происходят в противофазе, что соответствует теоретическим представлениям о колебательном процессе, происходящем в балке, шарнирно опертой на концах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

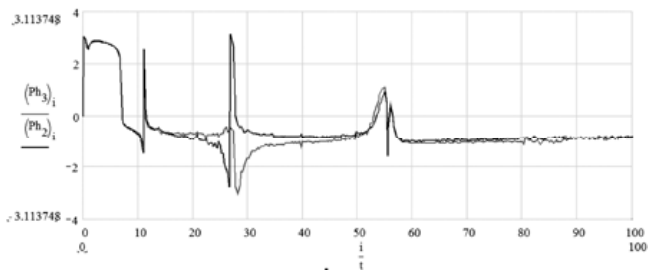


Рис. 1. Фазовые спектры точек, колеблющихся в противофазе на второй частоте

Смещения в форме колебаний определяли из значения амплитудного спектра на данной частоте. Полученные в результате описанного анализа записей перемещений первой и второй форм колебаний балки приведены на рис. 2 и рис. 3. Показанные формы колебаний и соответствующие им частоты также соответствуют полученным из теоретического расчета. Погрешность составляет не более 5%.

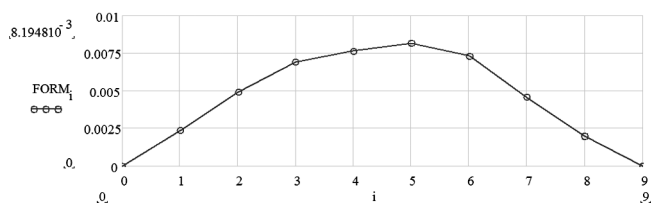


Рис. 2. Первая форма колебаний балки

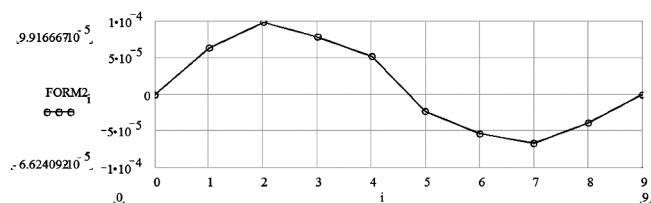


Рис. 3. Вторая форма колебаний балки

1. Бутенин Н. В. Теория колебаний. М.; "Высшая школа" 1962.
2. Пановко Я. Г. Основы прикладной теории колебаний и удара. Изд. 3-е, доп. и переработ. Л., "Машиностроение" 1976.
3. Инженерно-сейсмометрическая служба СССР. - М.: Наука, 1987.- 96 с.
4. G. N. Bugaevsky, An. V. Balashov, Al. V. Balashov, Problems of Improvement of Seismic Resistance of Buildings.- IASPEI 1997. The 29th General Assembly of IASPEI, Abstracts, Thessaloniki Greece, August 18-28, 1997 - 459 p.
5. Бугаевский Г. Н. Сейсмологические исследования неоднородностей мантии Земли.— Киев: Наукова думка, 1978.— 184 с.
6. Housner G. W. Trifanec "Analysis of accelerograms .- Parkfield earthquake. Bull. Seis. Soc. Am. Vol. 57, 1967, p.1193-1220.
7. Г.Н. Бугаевский, А.Ю. Степанюк. Экспериментальное исследование реакции зданий и сооружений на механическое воздействие. В сб. Динамические системы, вып. 13, Київ, «Либідь», 1994, с.85- 92.

Г.Н. Бугаевский

Крымская академия природоохранного и курортного строительства

Уравнения равновесия движения среды и спектральный тензор деформации

Рассмотрено получение уравнений равновесия и движения упругой среды с использованием принципа Даламбера. Показано, что в статических условиях выражения компонент упругих перемещений под действием поверхностных сил приводят к понятиям компонент и тензора деформаций. С использованием этих понятий и тензора напряжений в неравновесном состоянии среды получаются волновые уравнения, которые не используются для рассмотрения спектральных свойства элементов среды как основы для получения их частотных характеристик.

поверхностные и массовые силы, уравнения равновесия, тензор деформаций, напряжения, спектры реакции, динамические соотношения

1. Проблемы моделирования реакции конструкции на механическое воздействие.

Для описания колебаний конструкции с конечным числом степеней свободы используются дифференциальные уравнения Лагранжа II рода движения материальной системы. Если связи в системе являются геометрическими, удерживающими, стационарными и все силы в системе потенциальны, т.е. действуют без трения, а внешних переменных сил нет, то собственные движения системы описываются системой указанных однородных дифференциальных уравнений второго порядка. Решения такой системы ищут в виде совокупности гармонических функций с числом, равным числу степеней свободы движения конструкции. В силу однородности получаемой системы алгебраических уравнений абсолютные значения амплитуд колебаний по степеням свободы найти нельзя. Принимая амплитуду колебаний по первой степени свободы, соответствующей основному тону, равной единице, отыскивают распределения амплитуд колебаний по остальным степеням в долях первой амплитуды. Это дает так называемые формы колебаний. Само решение возможно только при условии равенства нулю определителя системы алгебраических уравнений, что приводит к так называемому уравнению частот и к определению частот главных колебаний конструкции. Поскольку методика такого решения хорошо известна и пригодна к модели вертикального

многомассового маятника с закрепленным нижним концом, моделирование сооружения консолью получило широкое распространение.

Применение такой модели к сооружению, которое нельзя относить к числу башен, тем более к сооружению произвольной конфигурации, не является корректным. Использование ее для определения реакции на внешнее **сейсмическое** воздействие тем более неприемлемо, поскольку движение грунта (и вместе с ним - сооружения) может быть представлено интегралом Фурье, но не является гармоническим, сейсмические волны имеют значительную энергию **вертикальной** составляющей, которая консольной моделью не учитывается.

Пространственная модель [1] в этом отношении имеет существенные преимущества. Опираясь на представление «неделимого атома» строительства – конечного элемента (КЭ) и на теорему Егупова-Гантмахера, определяют частоты собственных колебаний сооружений через частоты колебаний конечных элементов подсистем сооружения. Эти определения, в свою очередь, применяют и в консольной, и в пространственных моделях для отыскания численного значения коэффициента динамичности в выражении сейсмических сил.

В соответствии с требованиями нормативной документации результаты этих расчетов служат для оценки распределения «сейсмической силы» в сооружении как величины, пропорциональной

максимальному ускорению сейсмического движения грунта (в соответствии с картой сейсмического районирования в пункте расположения конструкции), приложенной в виде ступени. Вместе с тем, разрушающим, уничтожающим первый удар сейсмической волны является только непосредственно в плейстосейстовой зоне землетрясения. Многочисленные факты, наблюдения за пределами этой зоны свидетельствуют о разрушении сооружений **в процессе прохождения** сейсмических волн.

Возникает вопрос о соответствии упомянутых моделей эмпирическим фактам, о возможности использования понятий главных частот и форм колебаний для оценки реакции сооружения на сейсмическое воздействие.

Экспериментальные наблюдения (например, [2]) свидетельствуют о том, что приложение гармонической силы к изолированной от сооружения балке с опорами на концах создает в ней

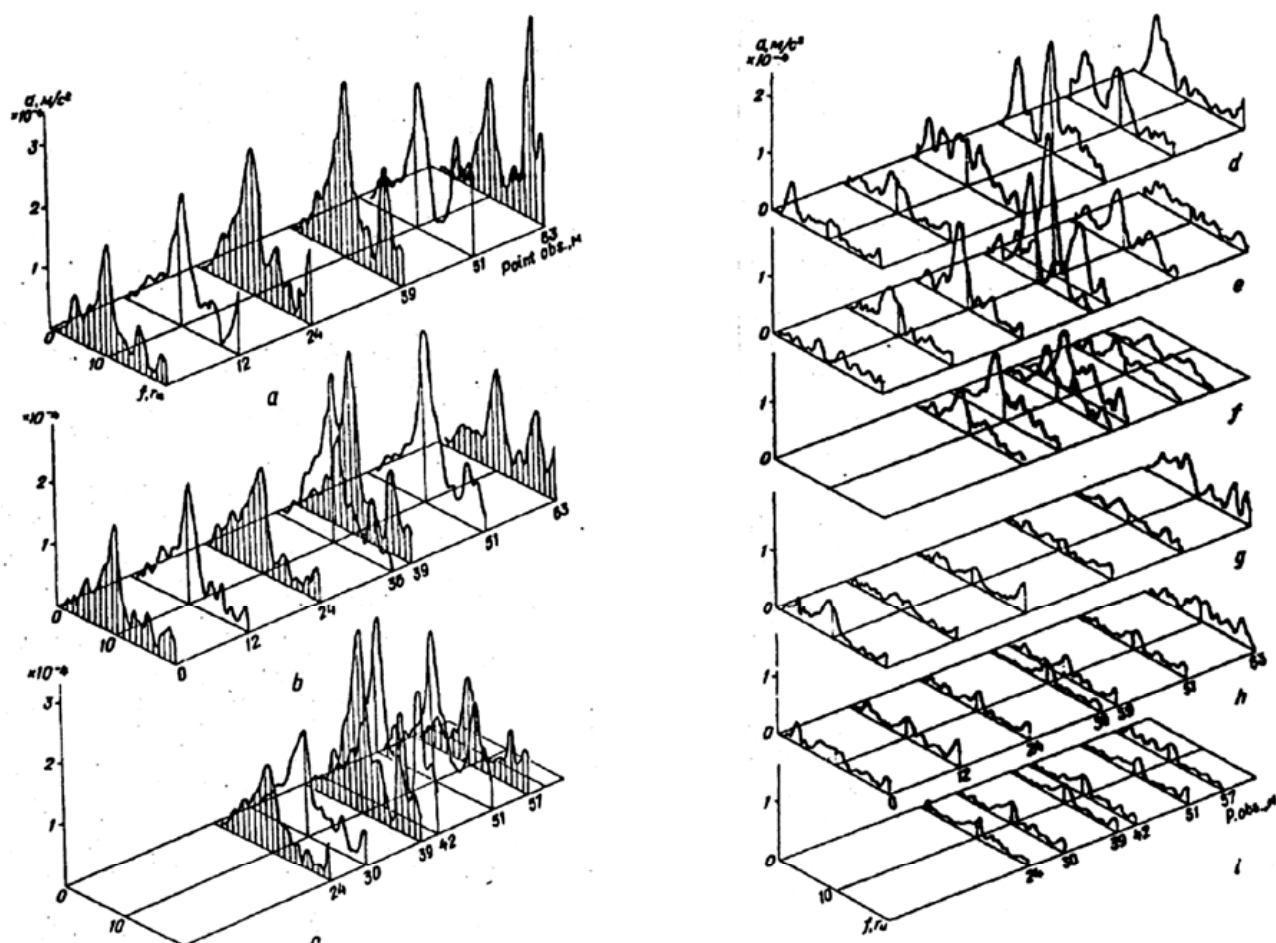


Рис. 1. Монтаж спектров ускорений по компонентам, этажам и значениям координаты X точки наблюдения: *a, d, g* – четвертый этаж; *b, e, h* – второй этаж; *c, f, i* – первый этаж.

соответствующие теории формы и частоты колебаний, близких к монохроматическим.

Вместе с тем, детальные наблюдения в реальном сооружении приводят к иным результатам [3,4,5]. Спектры компонент реакции реальных сооружений на механические воздействия – удары по грунту в десятках метров от зданий (рис.1, 2) существенно различны в разных точках сооружения. В них не выделяется основной

тон в виде спектрального максимума, соответствующего наиболее низкой частоте и максимумов других главных колебаний. Форма спектров характеризуется общей сложной структурой, несогласием по частотам максимумов разных компонент, закономерным изменением общего уровня максимумов спектров компонент, в том числе и вертикальной, в пределах этажа сооружения и ряда др. (В то же время, из

материалов, описанных в [5], следует, что спектры каждой из трех компонент, записанных на грунте, повторяются от к удара к удару - рис. 3).

Это может означать, что представления о главных частотах и формах колебаний,

основанные на частотах подсистем КЭ, составляющих сооружение, являются упрощенными. Нужно искать либо алгоритм усовершенствования модели КЭ, либо новые пути моделирования сооружения и его реакции.

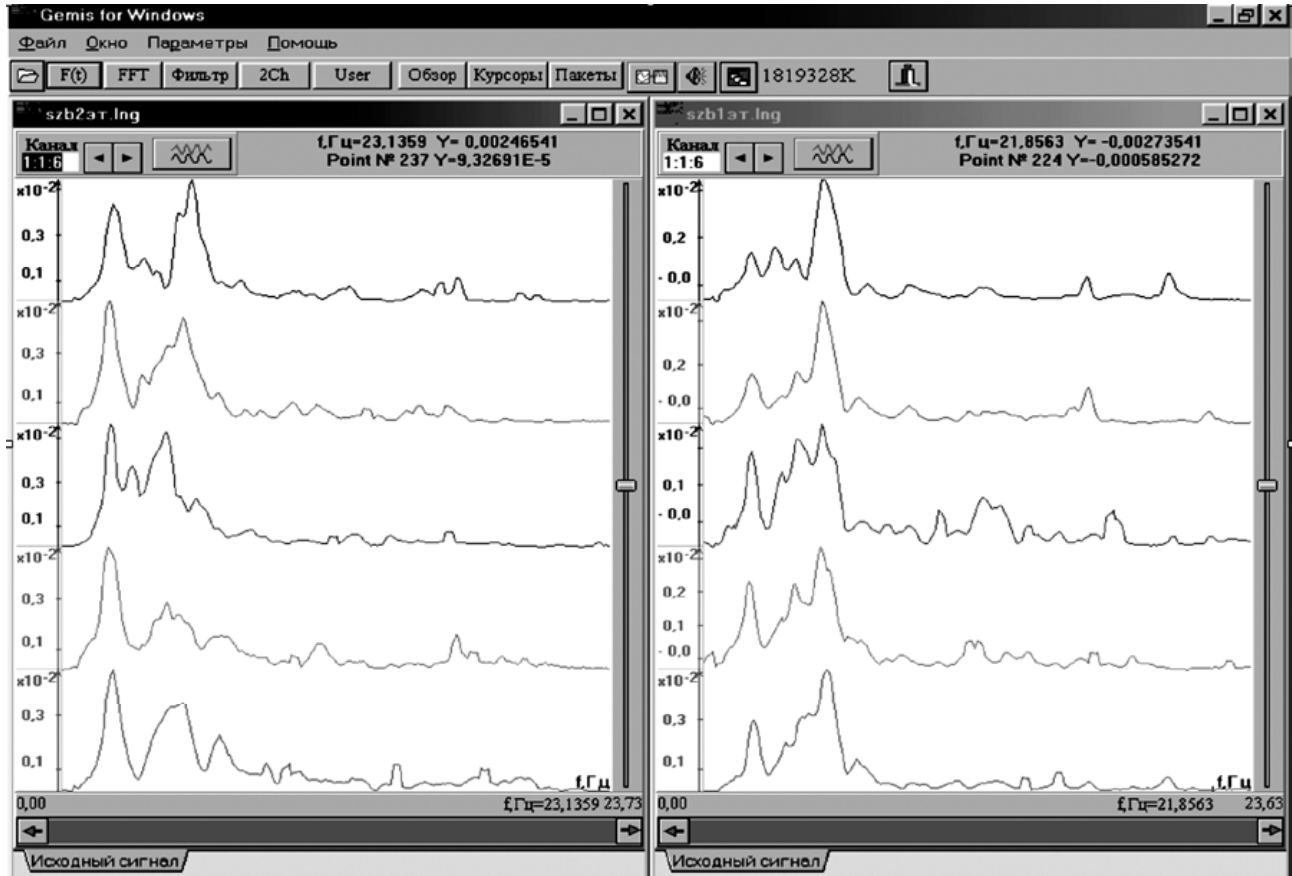


Рис. 2. Спектры вертикальной компоненты удара, записанные в пяти точках на двух этажах.

2. Условия равновесия и движения материальной системы

Чтобы наметить такие пути, напомним известное [6] получение условий равновесия и движения. В число сил, приложенных к элементу среды малого объема dw , включают равнодействующую массовых сил

$$dF_m = F_m \cdot dm = F_m \rho \cdot dw$$

и всех поверхностных сил

$$dF_v = P_v ds_v,$$

где F_m - массовая сила, отнесенная к единице массы, P_v - поверхностная сила, отнесенная к единичной площадке, называемая напряжени-

ем. Тогда массовая сила, действующая на весь объем W , и поверхностная сила, приложенная к участку S поверхности тела, есть, соответственно,

$$\vec{F} = \iiint_W F_m \rho \cdot dw, \quad \vec{F}_v = \iint_S \vec{P}_v ds_v$$

Вводя в массовые силы еще силы Даламбера, получают динамические уравнения в виде условий равновесия системы

$$\iiint_W \rho \cdot (\vec{F} - \vec{a}) \cdot dw + \iint_S \vec{P}_v \cdot ds = 0$$

или в проекциях на оси координат:

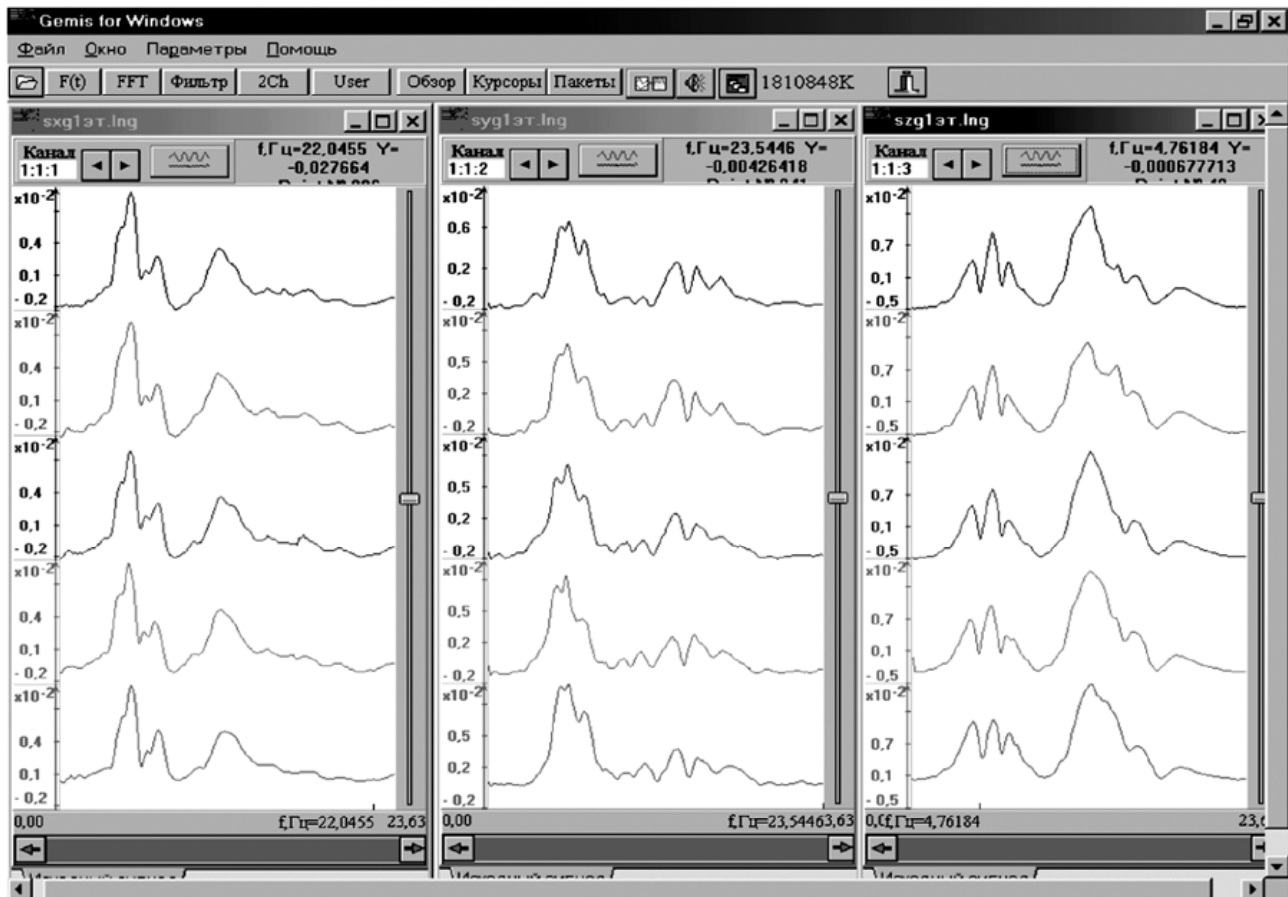


Рис. 3. Спектры трех компонент пяти ударов, записанные в одной точке грунта.

$$\begin{aligned}
 & \iiint_w \rho \cdot (X-x) dm + \\
 & + \iint_s (X_x l + X_y m + X_z n) ds = 0 \\
 & \iiint_w \rho \cdot (Y-y) dm + \\
 & + \iint_s (Y_x l + Y_y m + Y_z n) ds = 0, \\
 & \iiint_w \rho \cdot (Z-z) dm + \\
 & + \iint_s (Z_x l + Z_y m + Z_z n) ds = 0
 \end{aligned} \quad (1)$$

Преобразуя с помощью формулы Остроградского поверхностные интегралы в объемные, получают:

$$\begin{aligned}
 & \iiint_w \left[\rho \cdot (X-x) + \frac{\partial X_x}{\partial x} + \frac{\partial X_y}{\partial y} + \frac{\partial X_z}{\partial z} \right] dw = 0 \\
 & \iiint_w \left[\rho \cdot (Y-y) + \frac{\partial Y_x}{\partial x} + \frac{\partial Y_y}{\partial y} + \frac{\partial Y_z}{\partial z} \right] dw = 0, \\
 & \iiint_w \left[\rho \cdot (Z-z) + \frac{\partial Z_x}{\partial x} + \frac{\partial Z_y}{\partial y} + \frac{\partial Z_z}{\partial z} \right] dw = 0
 \end{aligned}$$

Последние равенства при произвольных объемах w возможны в случае равенства нулю подынтегральных выражений, т.е. при

$$\begin{aligned}
 & \frac{\partial X_x}{\partial x} + \frac{\partial X_y}{\partial y} + \frac{\partial X_z}{\partial z} + \rho \cdot (X-x) = 0 \\
 & \frac{\partial Y_x}{\partial x} + \frac{\partial Y_y}{\partial y} + \frac{\partial Y_z}{\partial z} + \rho \cdot (Y-y) = 0, \\
 & \frac{\partial Z_x}{\partial x} + \frac{\partial Z_y}{\partial y} + \frac{\partial Z_z}{\partial z} + \rho \cdot (Z-z) = 0
 \end{aligned} \quad (2)$$

Динамические соотношения (2) являются уравнениями Коши равновесия и движения упругого тела в напряжениях.

3. Тензор деформации

Если под действием приложенных сил относительное положение точек тела в системе координат $x y z$ во времени остается неизменным, то тело сохраняет равновесие и $\vec{a} = 0$. Само состояние равновесия при наложении таких сил характеризуется относительными перемещениями, компоненты u, v, w которых являются функциями координат так, что

$$\begin{aligned}\Delta u &= \frac{\partial u}{\partial x} dx + \frac{\partial u}{\partial y} dy + \frac{\partial u}{\partial z} dz, \\ \Delta v &= \frac{\partial v}{\partial x} dx + \frac{\partial v}{\partial y} dy + \frac{\partial v}{\partial z} dz, \\ \Delta w &= \frac{\partial w}{\partial x} dx + \frac{\partial w}{\partial y} dy + \frac{\partial w}{\partial z} dz.\end{aligned}$$

Частные производные u, v, w по координатам называются *компонентами деформации* - относительными удлинениями

$$\frac{\partial u}{\partial x} = e_{xx}, \quad \frac{\partial v}{\partial y} = e_{yy}, \quad \frac{\partial w}{\partial z} = e_{zz}$$

и сдвиговыми деформациями

$$\begin{aligned}\frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) &= e_{xy} = e_{yx}, \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) &= e_{yz} = e_{zy}, \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) &= e_{zx} = e_{xz}.\end{aligned}$$

При этом компоненты поверхностных сил составляют тензор напряжений:

$$\begin{Bmatrix} X_x & X_y & X_z \\ Y_x & Y_y & Y_z \\ Z_x & Z_y & Z_z \end{Bmatrix},$$

а компоненты деформаций - тензор деформаций:

$$\begin{Bmatrix} e_{xx} & e_{xy} & e_{xz} \\ e_{yx} & e_{yy} & e_{yz} \\ e_{zx} & e_{zy} & e_{zz} \end{Bmatrix}.$$

В условиях равновесия связь между ними в однородной изотропной среде определяет понятия модуля объемного сжатия и относительно-го объемного расширения, модуля Юнга, коэффициента Пуассона. Наличие сдвиговых компонент напряжений приводит к представлению вектора упругих деформаций в виде суммы градиента скалярного потенциала так называемой чистой упругой деформации и ротора вектор-потенциала деформационных поворотов упругой среды.

Если, напротив, в уравнениях (1) и (2) равновесия и движения среды пренебрегают массовыми силами, но допускают отсутствие равновесия ($\rho \cdot \vec{a} \neq 0$) и, следовательно, зависимость компонент относительного перемещения смежных точек среды не только от координат, но и от времени, из (1) и (2) приходят к уравнениям движения в упругой среде. Таким образом получаются так называемые волновые уравнения для объемных - продольных и поперечных - и для поверхностных волн.

Эти выводы для распространения волн в среде известны. Вместе с тем, их применение к наземным сооружениям требует определенных уточнений.

Как было показано нами ранее [7], всякий естественный и искусственный объект (среды, сооружения) при прохождении сейсмической волны оказывается в неинерциальной системе отсчета. Массовые силы, действующие в этом объекте в интервале времени прохождения сейсмических волн, включают не только гравитационные силы, но и силы инерции. Эти силы вызывают как поступательные, так и вращательные (за счет неинерциальности системы отсчета) движения объекта; вторые силы пока вообще не рассчитываются для объектов. В рассмотренном выводе уравнений движения и равновесия (1) с точки зрения принципа Даламбера учитывается равенство нулю только главного вектора системы всех сил¹). Формально, считая выделенный объем элементарным, пренебрегают равенством нулю главного момента всех сил (включая моменты сил инерции), а затем, ин-

тегрируя, приходят к уравнению для макроскопического тела. Применительно к наземным сооружениям такие действия требуют уточнений и дополнений.

Наконец, каждый элемент естественной среды и искусственного сооружения находится в своих условиях локальных упругих связей. Поэтому при прохождении цуга волн этот элемент ведет себя как колебательная система со своей переходной характеристикой. Таким образом, каждый элемент отличается присущей ему спектральной реакцией на процесс прохождения волн. Эта реакция проявляется, прежде всего, в спектрально-избирательной деформации. Полагая, нужно говорить (применительно к каждому объекту) о спектральном тензоре деформации, об определении через него частотной характеристики объекта. Здесь очень уместны и точны слова Кин Н. Тонга, профессора инженерной механики Сиракузского университета (США), высказанные им более 40 лет назад. «...Восприимчивость механических систем к колебаниям обуславливается неотъемлемыми свойствами системы, в соответствии с которыми основные динамические характеристики системы должны быть определены даже тогда, когда отсутствует периодическое движение» [8]. Квалифицированное знание и использование частотной характеристики может позволить не только рассчитать динамические воздействия сейсмических колебаний на реальное сооружение, но и принять меры по их снижению.

ВЫВОДЫ

1. Уравнения равновесия и движения в применении к искусственным наземным сооружениям в неинерциальной системе координат должны быть дополнены условием равенства нулю главного момента всех сил, включая силы инерции.
2. Тензор деформации, введенный для статических условий, должен быть представлен для динамических условий в виде тензора спектральных характеристик деформации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Егупов В.К., Егупов К.В., Лукаш Э.П. Практические методы расчета зданий на сейсмостойкость. - Киев: «Будівельник», 1982. - 144 с.
 2. Балашов Ал.В. Определение динамических характеристик по данным о движении отдельных точек колебательных систем // Данный сборник.
 3. Bugaevsky G.N., Stepanyuk A. Yu., Alekseenko A.A., Yezyk V.G., Lyschenko A.A. Engineering-seismometric diagnosing of buildings and constructions // Proceedings of the second russian-chinese regional seminar on earthquake engineering. May. 1992. Moscow. Russia Serviceprogress Ltd., pp. 67-76.
 4. Бугаевский Г.Н., Степанюк А.Ю. Экспериментальное исследование реакции зданий и сооружений на механическое воздействие // «Динамические системы», вып. 13, 1994. Киев, «Либідь», 1994. С. 85-92.
 5. Третьяков М.Г. Спектральная реакция реального сооружения на механическое воздействие // Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. тр, вып. 6. Симферополь, КАПКС, 2002. С. 29-32.
 6. Рябинкин Л.А. Теория упругих волн. - М.: «Недра», 1987. - 183 с.
 7. Бугаевский Г.Н., Бугаевский А.Г. Сейсмическое спектрально-динамическое зонирование территорий и сооружений. // Будівельні конструкції, вип. 53, кн. 1. - Київ: НДІБК, 2000. - С. 69-77.
 8. Кин Н. Тонг. Теория механических колебаний. - М.: Гос. науч.-тех. изд. машиностроительной литературы, 1963. - 352 с.
- ¹⁾ Такое допущение можно считать приемлемым для элементарного объема, являющегося частью сплошной среды, но не для наземного сооружения.

Г.Н. Бугаевский

Крымская академия природоохранного и курортного строительства

Задачи детального изучения сейсмической опасности в зоне Керченского пролива

Обсуждается необходимость детального определения структуры пространства гипоцентров в зоне Керченского пролива для выявления тектонически активных структур, способных создать интенсивные локальные сейсмические воздействия

тектонические нарушения, гипоцентры, эпицентры, линеаменты, домены, повторяемость землетрясений, сейсмостанции

Задачи строительства новых сооружений и укрепления существующих в зоне Керченского пролива непосредственно связаны с проблемой региональной сейсмической опасности. Регион, включающий Керченский пролив, по наблюдениям российских и украинских сейсмологических станций является одним из наиболее сейсмоопасных районов северного Причерноморья.

Карта общего сейсмического районирования Крыма в масштабе 1:1000000 [1], рассмотренная Коллегией Министерства архитектуры и строительной политики АРК в апреле и утвержденная приказом Министра в мае 2000 г., стала обязательной для территории Крыма. Она одобрена ранее Госстроем Украины в качестве документа, который войдет в состав новой редакции СНиП'а. Эта карта определяет всю южную часть Крымского полуострова, включая Керченский полуостров, как зону возможных 8-балльных землетрясений с вероятностью повторения один раз в 500 лет. С вероятностью повторения один раз в 1000 лет восточная половина Керченского полуострова принята в качестве территории с 9-балльной сейсмической опасностью.

Определение сейсмической опасности Северной Евразии [2], выполненное в рамках программы оценки глобальной сейсмической опасности (GSHAP), относит зону Керченского пролива к территории с максимальным сейсмическим ускорением 0.25 - 0.33g, (т.е. 9 баллов 12-балльной шкалы). Карты периодов повторяемости сейсмических сотрясений различной интенсивности на территории Северной Евразии [3] включают зону Керченского пролива, Керченский полуостров территории Украины и западную часть Краснодарского края Российской Федерации в

8-балльную область с повторяемостью один раз в 200-500 лет и в 9-балльную область с повторяемостью один раз в 1000 лет.

Таким образом, регион Керченского пролива и прилегающих частей территории Крыма и Краснодарского края является зоной возможных 9-балльных землетрясений.

Для ответственных объектов таких, как портовые сооружения, дамбы, мосты, туннели оценки сейсмической опасности по общим картам недостаточно. Опасность повреждений и разрушений несут локальные проявления тектонических нарушений, разрывов. Эти области повышенной активности определяются теперь как «домены», содержащие гипоцентры относительно слабых сотрясений, и линеаменты, к которым приурочены эпицентры сильных, разрушительных землетрясений [3].

Полученные за 20-30 последних лет карты эпицентров землетрясений региона (рис. 1-4) основаны на материалах наблюдений стационарных сейсмологических станций Института геофизики НАН Украины в Крыму и станции Анапа Института физики Земли РАН, удаленных от пролива более чем на 50 км, а друг от друга – на десятки и сотни километров. Система этих ближайших станций имеет чрезвычайно неудачное для зоны пролива широтное простираение, которое вносит в определяемые координаты эпицентров значительные погрешности. Особенно это сказывается на определении координат слабых землетрясений, совокупность гипоцентров которых необходима для выявления тектонически активных структур, выделения доменов и линеаментов.

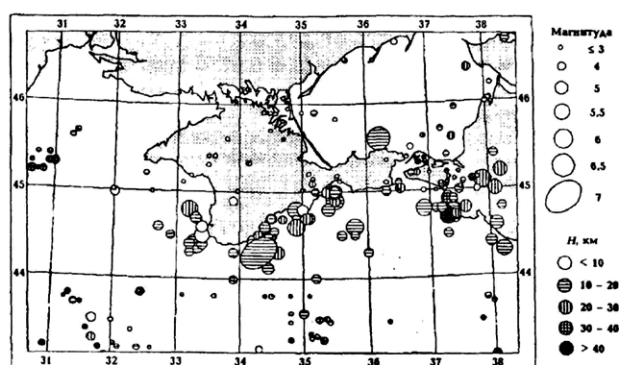


Рис. 1. Карта-схема эпицентров землетрясений Крымско-Черноморского региона [1] (за период с древнейших времен по 1998 г.), где К – энергетический класс землетрясения.

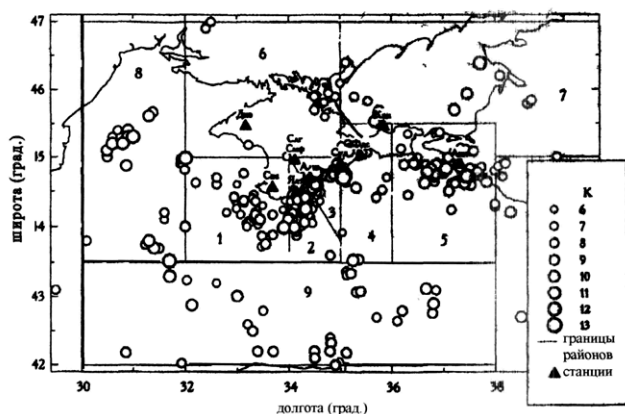


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений Крымско-Черноморского региона за 1986-1995 гг. [4].

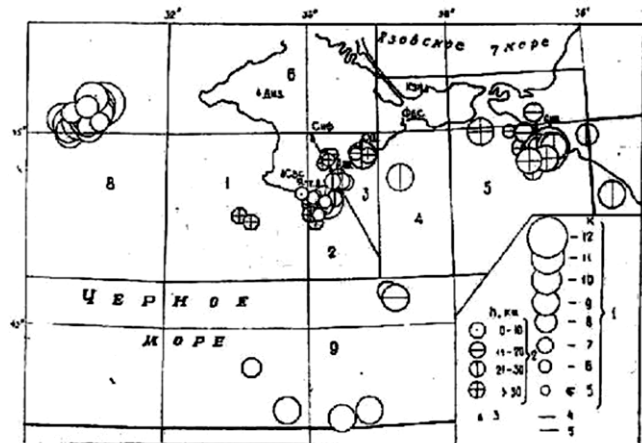


Рис.3. Карта эпицентров землетрясений Крымско-Черноморского региона за 1986-1995 гг. [5].

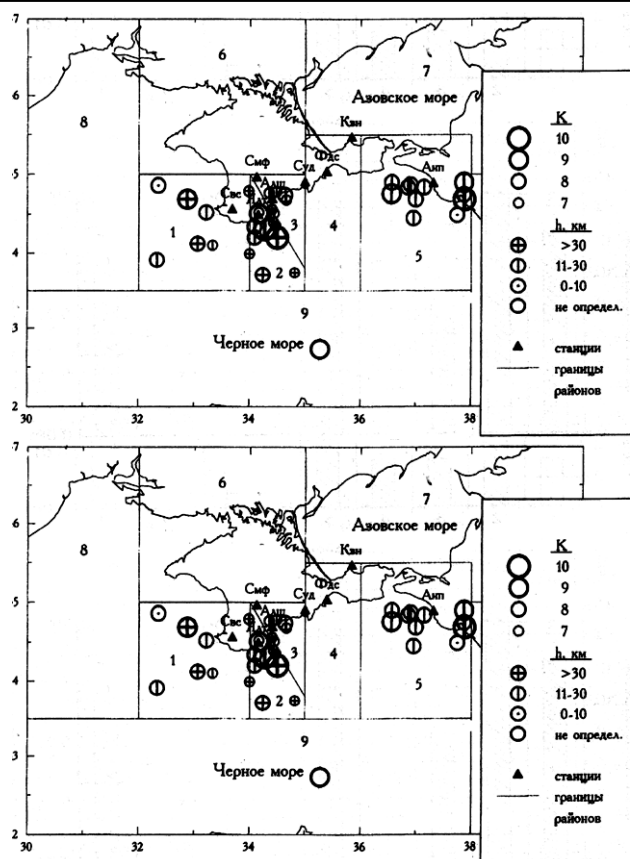


Рис. 4. Карты эпицентров землетрясений Крымско-Черноморского региона: а - за 1995 г., б – за 1996 г. [5].

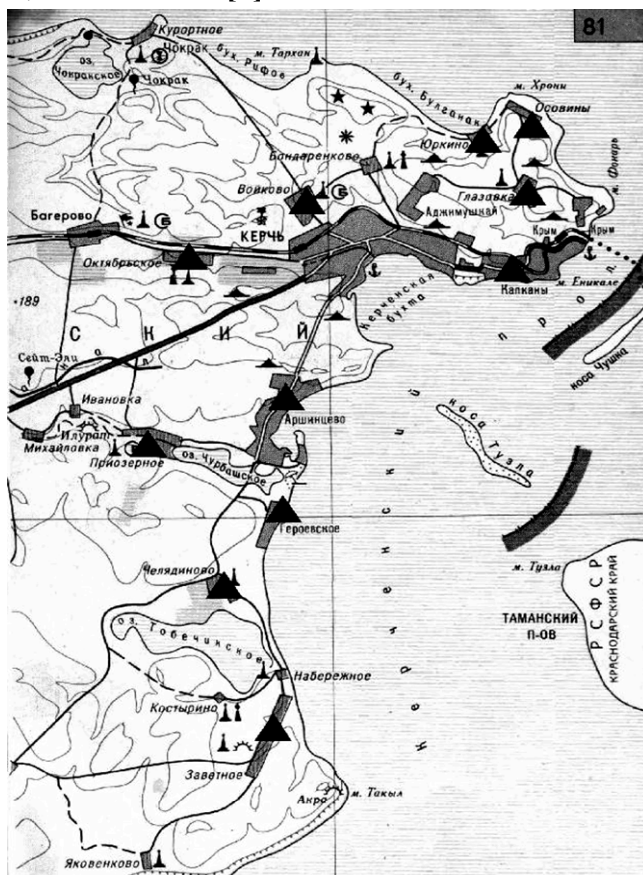


Рис.5. Предлагаемая схема размещения пунктов экспедиционных сейсмологических наблюдений на Керченском полуострове.

ВЫВОДЫ:

Всё сказанное выше, а также рисунки 1 - 4 свидетельствует о том, что, хотя активность зоны Керченского пролива определяется по наблюдениям системы станций значительно уступающей сейсмической сети в зоне Ялта-Алушта, общее количество и плотность эпицентров этих зон вполне сопоставимы. Следовательно, необходимо более детальное исследование сейсмичности зоны Керченского пролива.

В связи с этим, для уточнения гипоцентрального пространства, для обнаружения указанных выше опасных локальных структур требуется организация системы с повышенной плотностью пунктов сейсмологических наблюдений, для чего необходимо решить следующие задачи.

Создать временную локальную сеть экспедиционных сейсмологических пунктов и провести наблюдения, длительность которых в зависимости от повторяемости землетрясений может быть от нескольких месяцев до 2-3 лет. (Возможная схема размещения пунктов представлена на рис.5).

Построить карты эпицентров местных землетрясений и локальных сейсмически активных зон в регионе и карты зонирования территории для ряда частотных диапазонов, которые выявят наиболее и наименее опасные участки территории на этих частотах.

Определить конкретное пространственное положение сейсмогенных структур, разломов (с целью исключить попадание элементов проектируемых сооружений непосредственно в эти структуры).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Б.Г. Пустовитенко, В.Е. Кульницкий, Л.С. Борисенко, Е.И. Поречнова. Общее сейсмическое районирование территории Крыма (ОСР-98). Геофиз.ж., 6, т.21, 1999, с.3-15.
2. Seismic hazard of Northern Eurasia. Valentin I. Ulomov. *Annali di Geofisica*. Vol. 42, N. 6, December 1999, pp. 1023-1038.
3. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-97.Объяснительная записка. Гл. редакторы В.Н. Страхов, В.И. Уломов. М., ОИФЗ РАН, 1999. 57 с.
4. Б.Г. Пустовитенко, М.Н. Терентьев. Об эффективности современной сети сейсмических станций Крыма. Сейсмологический бюллетень Украины за 1995-1996 гг. Симферополь, 1997, с. 130-142.
5. В.А. Свидлова. Особенности сейсмичности Крыма. Сейсмологический бюллетень Украины за 1992 г. Симферополь, 1995, с. 5-6.
6. В.А.Свидлова, М.Н. Терентьев. Сейсмичность Крыма. Сейсмологический бюллетень Украины за 1995-1996 гг. Симферополь, 1997, с. 6-8.

М.В. Левенстам

Крымская академия природоохранного и курортного строительства.

Распределение напряжений в оползающем грунте по длине сваи, определение критического и предельного давления

Рассматриваются три фазы напряжённо-деформированного состояния грунта в оползневом склоне при контакте его с удерживающим сооружением в виде сваи

оползающие грунтовые массы, поверхность скольжения, свая, напряжения, деформации

Надёжность проектирования удерживающих противооползневых сооружений из свай во многом определяется корректностью учёта работы взаимодействующей системы «защемлённая в коренные породы свая – силовое воздействие на неё оползающих грунтовых масс».

Рассматривая сваю в виде вертикально поставленного (повёрнутого на 90°) ленточного фундамента [1], мы представляем, что свая передаёт на оползающие массы давление в виде реакции на оползневую нагрузку. По всей поверхности соприкосновения сваи с грунтом возникают горизонтальные контактные напряжения. Определение величины и характера распределения этих напряжений является основной задачей расчёта. Из экспериментальных исследований взаимодействия сваи и горизонтальной нагрузки, очевидно, что форма зависимости $\sigma-s$ (напряжения – деформации) при работе грунта на горизонтальное воздействие (при надвигании оползающего грунта на сваю), см. рис.1, аналогична форме зависимости $\sigma-s$ при работе грунта под вертикально нагруженным фундаментом.



Рис.1 Экспериментально полученная зависимость $\sigma-s$ (напряжения – деформации) при работе системы «свая-грунт» на горизонтальное воздействие

Это позволяет сделать предположение, что характер работы грунта в горизонтальном направлении под воздействием горизонтального нагружения подобен характеру работы грунта на вертикальную нагрузку. В связи с этим, логично выделить (по аналогии) три фазы работы системы «свая – оползающие массы»:

1-я фаза – когда свая уплотняет надвигающийся на неё грунт в условиях обеспеченной прочности грунта. В своих экспериментах эту стадию мы ограничивали перемещениями сваи в уровне поверхности грунта не более 10 мм, когда на поверхности грунта перед сваем отсутствуют какие-либо трещины. Это давление будем называть безопасным $P_{без}$ [2]. Это такое давление, когда развитие в оползающих массах областей предельного напряжённого состояния грунта (областей его разрушения) в зоне контакта с удерживающим сооружением в виде сваи полностью исключается.

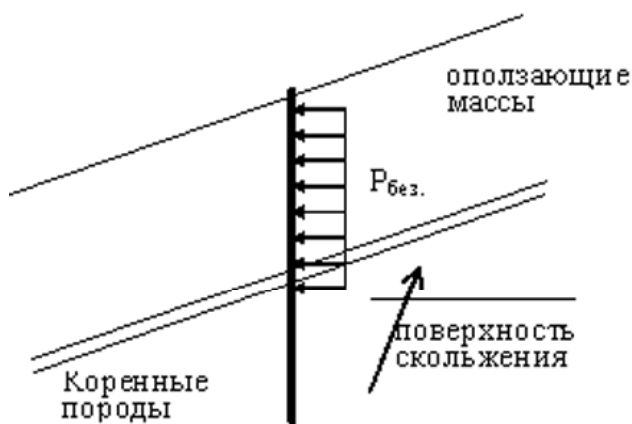


Рис.2. Эпюра распределения оползневого давления по длине сваи в стадии уплотнения (1-я фаза работы грунта)

Характер распределения давления от оползающих масс по длине сваи принимаем в форме прямоугольника. Это положение вытекает из экспериментальных исследований. В момент нарушения равновесия склона оползневой блок (а мы рассматриваем оползни именно блокового типа) смещается плоскопараллельно по поверхности скольжения, и давление по длине сваи распределяется по прямоугольнику. Характер распределения напряжений в грунте при плоскопараллельном перемещении сваи отражён на рис.3.

Из графика видно, что эпюра давлений в песчаном грунте имеет трапецевидную форму; эпюра распределения давлений в суглинке имеет форму близкую к прямоугольнику. Нас больше интересует работа суглинки, так как оползневые смещения в основном происходят в глинистых грунтах.

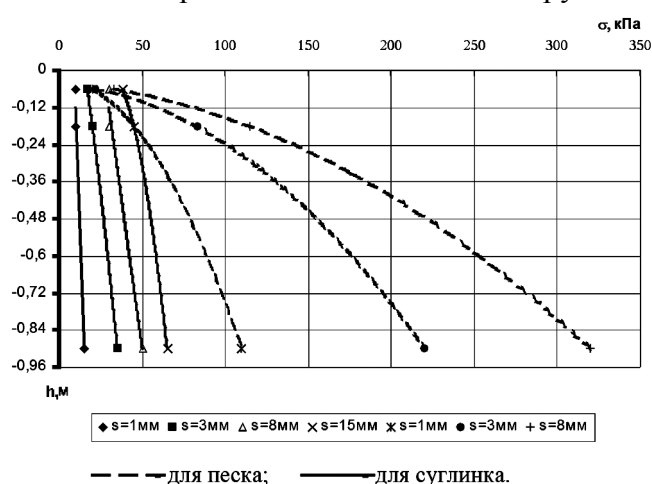


Рис.3 Характер распределения контактных напряжений при плоскопараллельном перемещении сваи в горизонтальном направлении.

Определение безопасного давления на грунт применительно к расчётной схеме работы грунта в стадии уплотнения можно было бы определить по формуле Н.Н.Маслова:

$$P_{\text{без.}} = \frac{\pi \cdot \gamma_{\text{ср.}} [h + c / (\gamma_{\text{ср.}} \cdot \text{tg} \varphi)]}{\text{ctg} \varphi + \varphi - \frac{\pi}{2}} \quad (1),$$

где c - сцепление грунта, φ - угол внутреннего трения, $\gamma_{\text{ср.}}$ - осреднённый удельный вес грунта по глубине сдвигаемого массива.

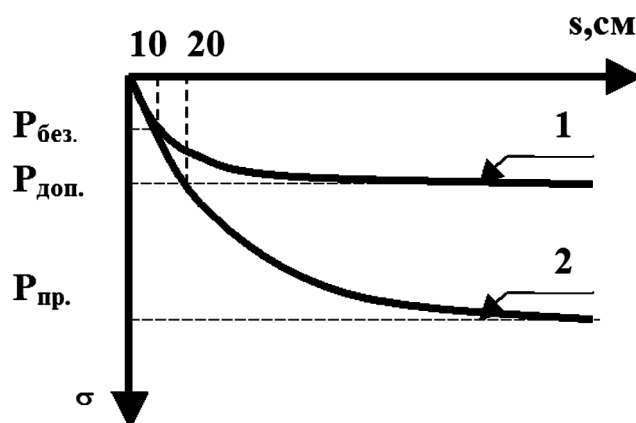


Рис.4 Зависимость реактивного давления удерживающего сооружения в виде сваи на грунт от смещения надвигающихся масс грунта:

1-верхний слой оползающего грунта на глубину $\approx 1,5h$; 2-нижележащие слои.

Однако силового воздействия с низовой стороны удерживающего сооружения в виде эпюры отпора грунта может и не быть, так как массив неустойчив. Если не учитывать пригрузочную роль грунта, расположенного с нижней стороны сваи (в запас работы сваи), то, реформировав согласно этому положению формулу Маслова Н.Н., безопасное давление на грунт определяем по формуле:

$$P_{\text{без.}} = \frac{\pi \cdot c' / \text{tg} \varphi'}{\text{ctg} \varphi' + \varphi' - \frac{\pi}{2}}, \quad (2),$$

при этом прочностные характеристики оползающего грунта c и φ получены традиционным методом при вертикальном нагружении испытуемых образцов. Но грунт не является изотропной средой, многочисленными исследованиями доказано, что в горизонтальном направлении прочностные характеристики ниже, чем в вертикальном. Эту анизотропность грунта предлагаем учитывать, понижая значения c и φ на треть от их значений при работе в вертикальном направлении. Таким образом, при расчёте сваи на оползневое давление $c' = \frac{2}{3} \cdot c$ и $\varphi = \frac{2}{3} \cdot \varphi$.

Однако, как показывает опыт проектирования, требование о полном отсутствии в основании сооружения областей предельного напряжённого состояния оказывается чрезмерно строгим. Строительная практика во многих случаях всё же допускает некоторое развитие областей предельного напряжённого состояния в основании сооружений, т.е. повышения давлений на основание, как вполне допустимых и безопасных, но не исключающих при этом использования выводов теории упругости. В СНиП глубина развития зоны пластических деформаций под подошвой фундамента допускается до $1/4b$ (b – ширина фундамента), мы предполагаем допустить развитие зон пластических деформаций до глубины проникновения в оползающие массы $y_{max} = b \cdot \operatorname{tg} \varphi$ (b – ширина сваи) [2]. Такое давление называется допустимым $P_{доп}$.

В наших экспериментах мы считали, что напряжения достигли $P_{доп}$ при смещении сваи в уровне поверхности грунта в пределах 20 мм; при этом зоны пластических деформаций появляются как у поверхности грунта, так и в нижележащих слоях грунта, надвигающегося на сваю. Это фаза частичных сдвигов – 2-я фаза работы системы сваи – оползающие массы.

Характер распределения напряжений в надвигающемся грунте по длине сваи в этой стадии работы грунта соответствует двум зонам: в верхней части оползающего массива в пределах небольшой глубины $1 - 1,5b$ (ввиду отсутствия пригрузки поверхности) формируется зона выпора – зона предельного состояния грунта. В экспериментах это выражалось формированием тела выпора в виде эллиптического конуса, обращённого вершиной вниз. По мере надвигания грунта на удерживающее сооружение растут напряжения в грунте и появляются пластические деформации у поверхности грунта перед свайей: сначала трещины в грунте исходят от углов сваи, затем идёт рост радиальных трещин с последующим оконтуриванием их на поверхности и формированием тела выпирания грунта. Перемещение сваи в уровне поверхности грунта достигает 20 мм.

В нижележащих слоях грунта, надвигающихся на сваю, образуется уплотнённое ядро (тело повышенной плотности), при этом смещение частиц грунта происходит в горизонталь-

ной плоскости симметрично вправо и влево с постепенным нарастанием величины отклонения по мере удаления от средней оси сваи. И по краям происходят частичные взаимные сдвиги грунта на расстояние $y_{max} = b \cdot \operatorname{tg} \varphi$.

Давление на грунт, отвечающее этому условию, можно определять как допустимое, также по предложению Н.Н. Маслова [2]. А с учётом специфических условий решаемой задачи допустимое давление на грунт определяем по формуле:

$$P_{доп.} = M_b \cdot b \cdot \gamma_{ср.} + M_c \cdot c, \quad (3)$$

где M_b и M_c – коэффициенты несущей способности грунта, зависящие от угла внутреннего трения φ :

$$M_b = \frac{\pi \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{ctg} \varphi - \frac{\pi}{2} + \varphi}; \quad M_c = \frac{M_b}{\operatorname{tg}^2 \varphi},$$

приведены на рис.5.

$\gamma_{ср}$ – средняя плотность грунта; b – ширина сваи; c – удельное сцепление грунта. Использование этой формулы возможно только в связных грунтах, когда $b > 0$; $\varphi > 5 - 7^\circ$ [2].

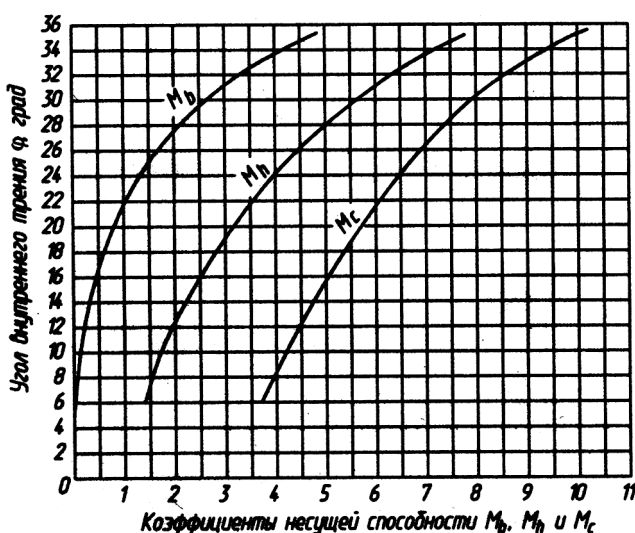


Рис.5 Коэффициенты несущей способности в зависимости от угла внутреннего трения

Сравнение расчётных критических давлений (безопасных и допустимых) с результатами экспериментов приведено в таблице 1.

Метод расчёта	Критические давления на грунт (кПа)	
	безопасное	допустимое
по Н.Н.Маслову	167	202,6
по СНиП 2.02.03-85	120	-
Предложение автора	81	85
Данные опытов	57	72

Таблица 1

Значения критических давлений на грунт (опыты в суглинке)

В зоне выпирания предельное давление на грунт определяют по формуле

$$P_{в.} = 3k_1 \cdot \gamma \cdot z^2 + 2[k_2(\gamma b + k_3 c) + k_4 c]z, \quad (4)$$

где k_1 ($i = 1, \dots, 4$) – безразмерные коэффициенты, зависящие от ϕ_1 [2]; γ – расчётное значение объёмного веса грунта; c – расчётное значение удельного сцепления грунта.

Очевидно, что на границе областей выпирания и прорезания грунта давление $P_{в.}$ должно быть равно допускаемому давлению на грунт $P_{доп.}$. Приравнявая (3) и (4), получаем уравнение для определения глубины зоны выпора $z = z_{в.}$

$$3k_1 \rho z^2 + 2/k_2(\rho b + k_3 c) + k_4 c/z = (M_b b \rho + M_c c)/b$$

Предельное сопротивление сдвигаемого тела грунта выпиранию определяют по формуле:

$$E_{в.} = k_1 \gamma z_{в.}^3 + [k_2(\gamma b + k_3 c) + k_4 c] \cdot z_{в.}^2, \quad (5)$$

где все обозначения приведены выше.

Эпюра оползневое давления по высоте сваи будет неравномерной. До глубины $z = z_{в.}$

оползневое давление увеличивается по параболическому закону, а при $z > z_{в.}$ оно постоянно.

Характер распределения напряжений по длине сваи во второй стадии работы грунта соответствует двум зонам: зоне предельного состояния грунта в верхней части (у поверхности), а ниже глубины выпора – зоне уплотнения с частичными сдвигами.

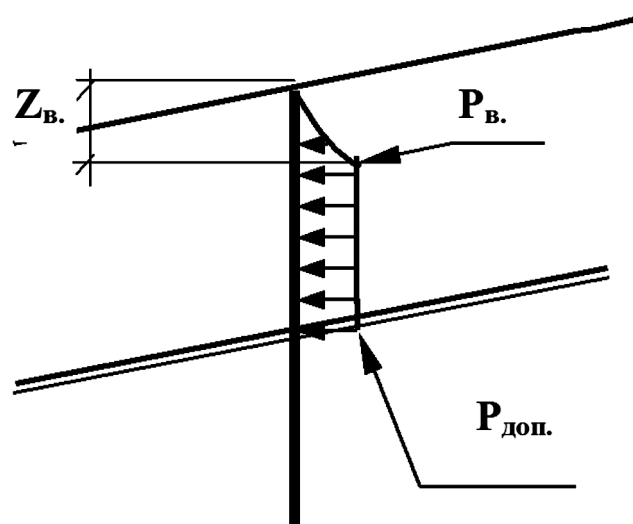


Рис.6. Эпюра давлений на сваю от оползающего грунта во 2-й фазе

Третья фаза деформаций грунта характеризуется массовым явлением сдвига частиц и прорезанием свай ход в надвигающемся на неё грунте. При этой фазе создаются наиболее тяжелые условия для работы сваи на склоне.

Для теоретического решения вопроса о предельной нагрузке (давлении) $P_{пр}$ на грунт в общем виде необходимо решить сложные дифференциальные уравнения предельного (пластического) равновесия совместно с условием пластичности. При использовании приближённых методов и ряда допущений эти решения оказываются чрезмерно громоздкими, что в значительной мере лишает их необходимой убедительности и ограничивает возможность использования на практике. К тому же такие решения не всегда имеют должную апробацию. Тем не менее, для решения поставленной нами задачи воспользуемся имеющимся упрощенным, но широко используемым решением, предложенным в своё время К. Терцаги [3].

Предельное давление – это такое напряжённое состояние грунта, когда надвигающиеся на сваю оползневые массы начинают обтекать сваю с образовавшимся перед нею уплотнённым ядром и, таким образом, свая как бы прорезает себе в оползне ход. Это предельное давление мы определяем по формуле (6).

$$P_{np} = \gamma \cdot b \cdot N_p + \gamma \cdot d \cdot N_q + c \cdot N_c, \quad (6)$$

где N_p, N_q, N_c - безразмерные коэффициенты несущей способности грунта, являющиеся функциями угла внутреннего трения, определяемые по графикам [3]; γ - осреднённое расчётное значение объёмного веса грунта, залегающего выше текущей координаты z ; b - ширина сваи; c_1 - расчётное значение удельного сцепления грунта.

Но предельное давление достигается при весьма больших перемещениях, которые недопустимы для большинства решаемых задач.

ВЫВОДЫ

1. Характер распределения напряжений в оползающем грунте по длине сваи зависит от вида грунта (связного и несвязного) и стадии напряжённо-деформированного состояния грунта: – стадии уплотнения, стадии с частичным развитием зон сдвигов и стадии предельного состояния. Таким образом, равнодействующую оползневое давления следует определять в соответствии со стадией напряжённо-деформированного состояния склона.
2. Предложены критерии деления оползневое давления грунта на безопасное, допускаемое и предельное в зависимости от допускаемого перемещения на поверхности грунта, соответствующего разным стадиям напряжённо-деформированного состояния грунта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маслов Н.Н. Механика грунтов в практике строительства (оползни и борьба с ними), М., Стройиздат, 1977г., с.320.
2. Маслов Н.Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов, М., Высш. шк., 1982г.
3. Шутенко Л.Н., Гильман А.Д., Лужин Ю.Т. Основания и фундаменты. Курсовое и дипломное проектирование. К., В. Шк., 1989г., с.325.

Э.В. Литвинова

Крымский государственный инженерно-педагогический университет

Инструментальный анализ задачи восстановления входного сигнала

Рассмотрены конкретные примеры практического решения задачи восстановления входного сигнала методом Линза и результаты численного решения, полезные для практического применения при измерениях. Анализ проводился для сейсμοприемника СМЗ-КВ. Используемые в работе сейсмометрический комплекс и пакет программ многомерного анализа были разработаны в ходе выполнения научно-исследовательской работы по математическому решению обратной задачи восстановления входного сейсмического сигнала. Данный способ восстановления истинного движения почвы применим к записям отклика на импульс и сейсмического сигнала, полученным с помощью любого сейсморегистрирующего устройства, с любым способом записи. Поэтому, при изучении сейсмических воздействий на конструкции зданий и сооружений необходимо знать характеристики сейсмических движений, которые определяются путём обработки сейсмограмм и акселерограмм землетрясений
обратная задача, входной сигнал, истинное движение почвы, алгоритм, сейсμοприемник, аналого-цифровой преобразователь, единичный скачек

Обратные задачи имеют определяющее значение для измерительной техники. Методы их решения разнообразны. Рассмотрим конкретные примеры практического решения задачи восстановления входного сигнала методом Линза [1] и результаты численного решения, полезные для практического применения при измерениях.

Проанализируем результаты восстановления входного сигнала, полученные с помощью сейсмометрического комплекса. Сигнал зарегистрирован сейсμοприемником СМЗ-КВ. В данном случае отклик на единичный скачок и велосиграмма были записаны сейсμοприемником (рис. 1, 2), а входной сигнал («истинная сейсмограмма») - ёмкостным датчиком калибровочного стенда [2].

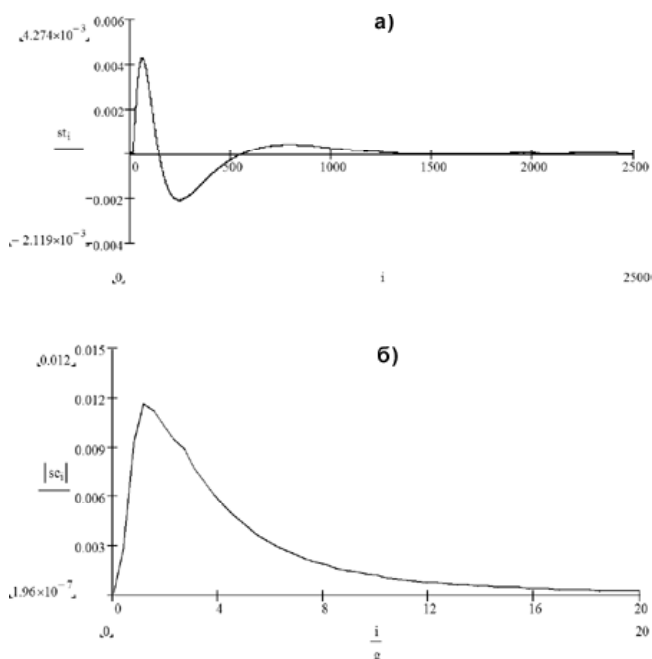


Рис. 1. Отклик на единичный скачок, записанный сейсμοприемником СМЗ-КВ (а) и соответствующий ему спектр (б)

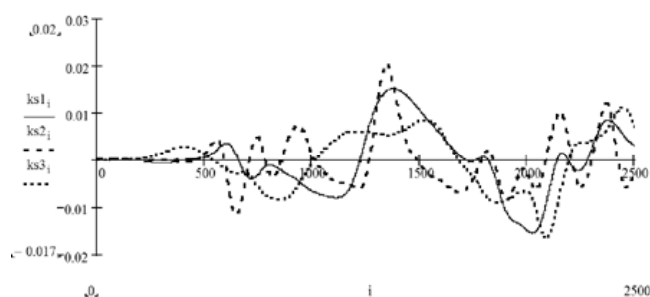


Рис. 2. Велосиграммы №№ 1-3, записанные сейсμοприемником СМЗ-КВ

Для рассматриваемого решения обратной задачи сейсмометрии используются отклики на импульсы, без опоры на значения отдельных параметров приборов, т. е. применяется более непосредственная схема, чем в других известных способах восстановления истинного движения почвы.

На рис. 3-5 приведены примеры применения данного алгоритма, которые дают представление о характере искажений, вносимых сейсμοприемником в исходный сигнал.

Сравнение рассчитанных спектров для входного и восстановленного сигналов (рис. 3б, 5б) дает основание полагать, что найденные решения достаточно хорошо аппроксимируют «истинные».

Но, при восстановлении сигнала с преобладающими высокими частотами (рис. 2 – сигнал № 2), был получен «плохой» результат (рис. 4). Это объясняется тем, что часть спектра данного сигнала лежит вне полосы пропускания сейсμοприемника СМЗ-КВ (рис. 1б).

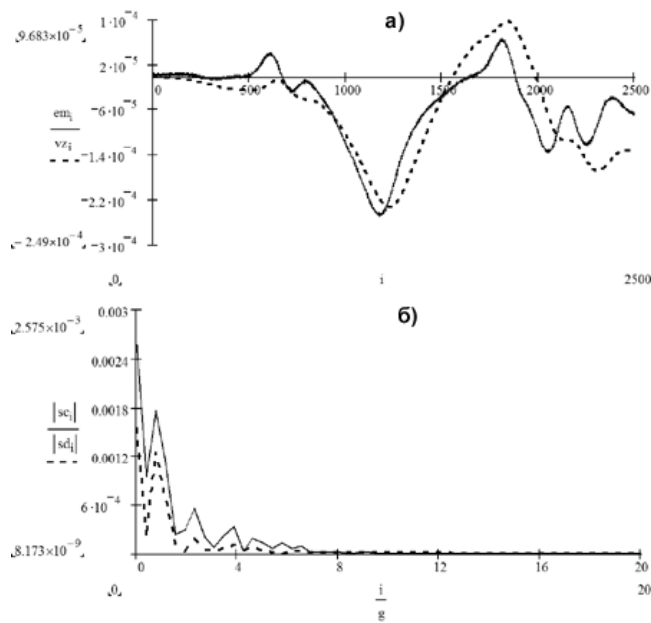


Рис. 3. Решение обратной задачи для сигнала №1

а) – em – исходная сейсмограмма №1, vz – восстановленный сигнал; б) – соответствующие спектры

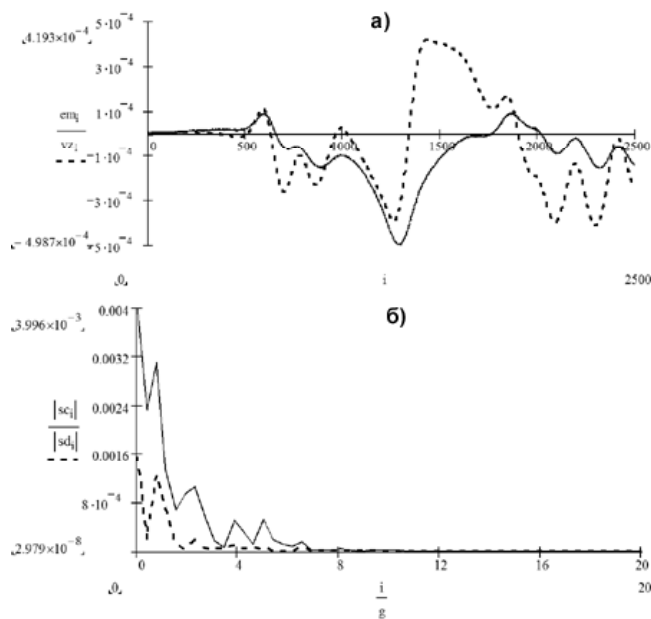


Рис. 4. Решение обратной задачи для сигнала №2

а) – em – исходная сейсмограмма №2, vz – восстановленный сигнал; б) – соответствующие спектры

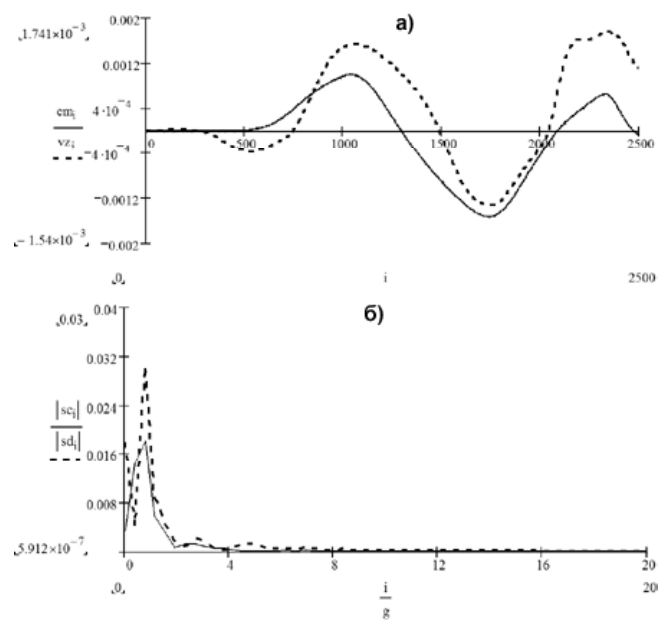


Рис. 5. Решение обратной задачи для сигнала №3

а) – em – исходная сейсмограмма №3, vz – восстановленный сигнал; б) – соответствующие спектры

Используемые в работе сейсмометрический комплекс и пакет программ многомерного анализа были разработаны в ходе выполнения научно-исследовательской работы по математическому решению обратной задачи восстановления входного сейсмического сигнала.

Особенность рассматриваемого пакета состоит в том, что он дает возможность получать результаты решения прямой и обратной задач сейсмометрии (интеграл свертки). Такой пакет можно применять и в других областях, где необходим многомерный анализ экспериментальных данных.

Достоинства сейсмометрического комплекса:

1. Возможность обработки информации, полученной непосредственно от сейсмоприемников с помощью подключения аналого-цифрового преобразователя.
2. Оперативная корректировка и дополнение программного обеспечения.
3. Возможность перехода на машинную обработку сейсмологической информации.

ВЫВОДЫ

1. Применение данной сейсмометрической методики анализа сейсмических записей и определение на основе этого анализа входного сейсмического сигнала [3] является перспективным направлением в связи с внедрением в практику импульсной калибровки сейсмометрических каналов.
2. Экспериментальные расчёты показали хорошую работоспособность данного метода и принципиальную возможность его применения для обработки реальных сейсмограмм с целью определения «истинного» движения почвы. При этом достаточно располагать только табулированным откликом на стандартный импульс и табулированной исследуемой сейсмограммой. В этом случае нет необходимости переопределять численные значения параметров аппаратуры.
3. Данный способ восстановления истинного движения почвы применим к записям отклика на импульс и сейсмического сигнала, полученным с помощью любого сейсморегистрирующего устройства, с любым способом записи. Поэтому при изучении сейсмических воздействий на конструкции зданий и сооружений необходимо знать характеристики сейсмических движений, которые определяются путём обработки сейсмограмм и акселерограмм землетрясений.
4. В связи с этим актуальной становится задача получения объективных энергетических оценок: энергии землетрясения, энергии колебаний в районе их расположения. В случае успеха это дало бы возможность добиться максимальной эффективности решения комплексных, межрегиональных проблем, обеспечивающих безопасность населенных пунктов, промышленных зон и ответственных сооружений при сейсмических воздействиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бугаевский Г.Н., Литвинова Э.В. Универсальный метод решения обратной задачи сейсмометрии // Геофизический журнал. – 2002. - № 1. Т. 24 – Киев - С. 120-123.
2. Бугаевский Г.Н., Белов В.П., Смертенко З.Я., Балашов Ан.В., Геращенко А.А. Стенд для испытаний и калибровки сейсмометрической аппаратуры // Доповіді науково-технічної конференції «Будівництво в сейсмічних районах України» 18-21 травня 1999 р. - 1999 – Ялта - С. 221-226.
3. Литвинова Э. В. Разработка обоснованной сейсмометрической методики анализа сейсмических записей. В сб. научных трудов: Строительство и техногенная безопасность. – 2002 - Вып. 6 – КАПКС - С. 249-259.

Н.В. Мартынов

Крымская академия природоохранного и курортного строительства

Классификация как средство компактного представления особенностей и возможностей систем и элементов сейсмозащиты

Отмечена важность и необходимость качественной идентификации систем и элементов современной сейсмозащиты, отмечены причины, по которым не устраивают действующие варианты классификации. Представлен вариант более действенной классификации

амплитуда, затухание, магнитуда, интенсивность, колебание, одно-массовая система, свободные и вынужденные колебания, традиционная и активная сейсмозащита.

Ни одна страна в перспективе не застрахована от разрушительных воздействий сильных землетрясений - все зависит лишь от временного периода, в рамках которого можно ожидать данное событие. Ежегодный мировой ущерб от разрушительных землетрясений измеряется миллиардами долларов, десятками тысяч погибших, сотнями тысяч пострадавших. Поэтому не удивительно, что на протяжении всего своего существования, человек по мере своих сил, знаний, опыта старался защитить свою жизнь и свое жилье от разрушительных воздействий сильных землетрясений. В борьбе с грозной стихией собирался, накапливался и обобщался опыт, знания, приемы эффективной сейсмозащиты.

При этом по сложившейся практике, условно, сейсмозащита подразделяется на два основных направления: традиционная и активная сейсмозащита.

Традиционная сейсмозащита в основном осуществляется путем снижения массы конструкций и элементов, путем изменения жесткости конструкций, увеличения прочности используемых материалов, дополнительного армирования стен, узлов сопряжения отдельных элементов и, наконец, посредством предварительного напряжения и выгибания, несущих конструкций строительного объекта.

Это требует значительных дополнительных затрат, строительных материалов и средств. При этом изменение размеров конструкций и прочности материалов приводит к изменению технологии возведения объекта, увеличению жесткости и веса строительного объекта, что, в свою очередь, вызывает возрастание инерционной нагрузки. Рассматриваемая сейсмозащита не пригодна и бесполезна для использования при интенсивностях сейсмического воздействия свыше девяти баллов.

Традиционные методы сейсмозащиты обеспечивают сейсмостойкость строительного объекта лишь на макросейсмическую интенсивность в пределах до 9 баллов. Что же касается 10-балльных и более интенсивных землетрясений, то для таких случаев они оказываются недостаточными и слишком затратными, вследствие чего, в СНиП не приводятся [6, 8].

Сложившееся положение не может устраивать ни заказчиков возводимых объектов, ни строителей, обеспечивающих сейсмозащиту данным объектам; выход из затруднения один – альтернативные способы или активная сейсмозащита.

Активная сейсмозащита включает в себя: конструктивные системы, устройства и элементы, как правило, располагаемые между самим строительным объектом и его фундаментом, и служащие для снижения сейсмического воздействия на строительный объект, обеспечивающие необходимую сейсмостойкость как самому защищаемому объекту, так его несущим элементам.

Активная сейсмозащита и ее элементы еще недостаточно исследованы и апробированы в условиях их работы при сильных землетрясениях, поэтому в строительной практике ее системы и элементы пока редко применяются.

В настоящее время существуют сотни вариантов различного рода систем и элементов сейсмозащиты, имеющих разное конструктивное исполнение и работающих на разных физических принципах, что исключает возможность их прямого и непосредственного сравнения между собой. Следует добавить, что сейсмозащита работает в составе строительного объекта, следовательно, особенности защищаемого объекта неизбежно будут отражаться на работе и эффективности сейсмозащиты. Что же касается, имеющих место вариантов архитектурно-конструктивного

исполнения строительных объектов, то оно измеряется сотнями тысяч и даже миллионами единиц. Вклад в общую неоднозначность и неопределенность вносят и особенности землетрясения: глубина гипоцентра, эпицентрального расстояния, интенсивность, геологические особенности строительной площадки и т.д.

Современное классифицирование систем сейсмозащиты основано на принципе работы сейсмозащиты, ее конструктивных узлов и элементов (системы с упругими амортизаторами и опорами; системы со скользящими поясами или скользящими опорами; системы с повышенными диссипативными характеристиками и т.д.); реже – на конструктивном исполнении (рамочные или кольцевые энергопоглотители, стойки со сферическими поверхностями торцов и т.д.). Однако при этом в классификации не просматриваются закономерные связи между классами объектов и свойствами каждого объекта (в том числе место в классификации).

Каждый элемент классификации представляет свойства и особенности целого ряда или группы аналогичных технических решений и явлений, при анализе каждого класса, что существенно сокращает объемы их рассмотрений и сопоставлений.

Положительным примером такого классифицирования систем сейсмозащиты может служить классификация, приведенная Г.А. Казиной и Л.Ш. Килимником в обзоре «Современные методы сейсмозащиты зданий и сооружений» [3], а также в книге Полякова В.С. «Современные методы сейсмозащиты зданий и сооружений» [7].

И все же проблема идентификации систем сейсмозащиты остается. Сложность и структурная неоднородность строительных объектов, многофакторность и многокомпонентность сейсмического воздействия приводят к тому, что отмечаемые любой классификацией и систематизацией факторы в процессе работы в тот или иной момент времени, в зависимости от условий работы, могут меняться местами, оказывать взаимовлияние, исчезать и вновь появляться. К тому же, системы сейсмозащиты могут одновременно включать в себя ряд компонент, относящихся к разным элементам и разделам классификации и тем самым выходить за рамки системных ограничений, что опять приводит к многообразию и неоднозначности и, как следствие,

к неопределенности выбора. Мы полагаем, что закономерные связи между классами и разрядами классификации могут быть выявлены на основе использования уравнения колебаний одно-массовой системы

Как известно, уравнение движения любой системы с одной степенью свободы имеет вид:

$$m \ddot{x} + c \dot{x} + kx = p(t) \quad (1.1)$$

где $x(t)$, $\dot{x}(t)$, $\ddot{x}(t)$ – соответственно координата материальной точки, скорость и ускорение в момент времени t ; m – масса системы; c – коэффициент трения и k – коэффициент упругости системы; $p(t)$ – внешнее силовое воздействие.

Для динамики сооружений существенное значение имеет как вид (статическая, импульсная, динамическая и т.д.), так и форма (треугольная, трапециидальная, синусоидальная и т.д.) нагрузки (силового воздействия), что сказывается и на решении уравнения движения, и на анализе поведения системы. Учитывая возможности комбинирования разложения сил и нагрузок, любое силовое воздействие можно заменить эквивалентной нагрузкой или набором эквивалентных сил, что существенно упрощает анализ и исследование поведения динамических систем. Как известно, решение уравнения (1.1) можно рассматривать как сумму общего решения $\bar{x}$ и частного решения x^* .

Так, как характеристический многочлен, однородного дифференциального уравнения второго порядка с постоянными коэффициентами имеет вид:

$$\lambda^2 + 2h\lambda + \omega_0^2 = 0, \quad (1.2)$$

где $\omega_0^2 = k/m$, и $2h = c/m$ а его корни равны:

$$\lambda_{1,2} = -h \pm \sqrt{h^2 - \omega_0^2}, \quad (1.3)$$

то решение, в зависимости от значений корней, как известно, распадается на три случая:

- случай малого трения в системе (недемпфированные системы);

- случай большого трения в системе (передемпфированные системы);
- переходный случай (граница апериодичности).[1, 2, 4-6]

При заранее выбранных начальных условиях $x(0) = x_0$ и $\dot{x}(0) = \dot{x}_0$, общее решение дифференциального уравнения (1.1) сводится к следующим трем формулам:

$$\bar{x} = e^{-ht} (C_1 \sin \omega_1 t + C_2 \cos \omega_1 t) \quad (1.4)$$

$$\bar{x} = C_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 e^{\lambda_2 t} \quad (1.5)$$

$$\bar{x} = e^{-ht} (C_1 + C_2 t) \quad (1.6)$$

где $\omega_1 = \sqrt{\omega_0^2 - h^2}$, C_1 и C_2 постоянные интегрирования.

Вводя в формулу (1.4) вместо постоянных интегрирования C_1 и C_2 новые постоянные A и φ при помощи формул: $C_1 = \sin \varphi$, $C_2 = \cos \varphi$ и известных тригонометрических преобразований полученное решение (1.4) можно представить в виде:

$$\bar{x} = A e^{-ht} \sin (\omega_1 t + \varphi) \quad (1.7)$$

где A и φ с учетом начальных условий ($t=0$, $x=x_0$, $\dot{x}=\dot{x}_0$):

$$A = \sqrt{x_0^2 + (\dot{x}_0 + h x_0)^2 / \omega_1^2};$$

$$\operatorname{tg} \varphi = x_1 x_0 / (\dot{x}_0 + h x_0).$$

Из которого видно, что при $t \rightarrow \infty$ $x \rightarrow 0$ ($e^{-ht} \rightarrow 0$), т.е. движение является затухающим. Это затухающее движение носит колебательный характер, так как приближаясь (при $t \rightarrow \infty$) к состоянию равновесия, система будет проходить через это состояние формально бесконечное число раз в моменты времени, равные:

$$t_n = \frac{n\pi - \varphi}{\omega_1}$$

где $n = 0, 1, 2, \dots$

Следует заметить, что движение, описываемое формулами (1.4 и 1.7), не является гармоническим, так как с течением времени последо-

вательные максимальные отклонения точки от положения равновесия уменьшаются. Однако для нас важно другое обстоятельство, а именно, то, что максимальные отклонения точки от положения равновесия хотя со временем и уменьшаются, но промежутки времени между двумя любыми последующими отклонениями

есть величина постоянная, равная $\frac{2\pi}{\omega_1}$.

Эту величину принято называть периодом затухающего колебания. [1, 2, 4-6]

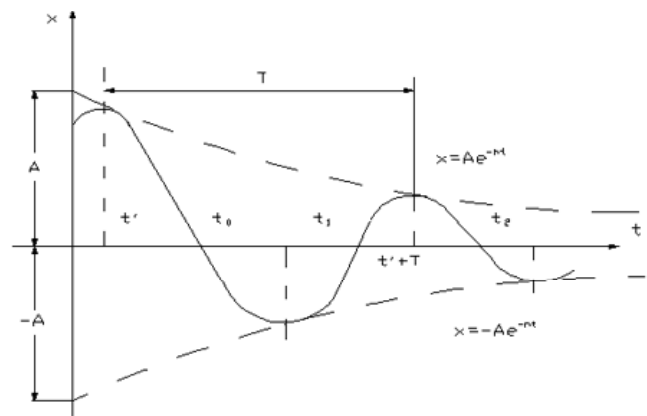


Рис.1 График затухания колебаний при вязком трении

Рассмотрим подробнее график движения (рис. 1.). На этом рисунке кривые $x = A e^{-ht}$ и $x = -A e^{-ht}$ являются границами области, внутри которой располагается график движения системы.

Вычислим моменты времени, соответствующие максимальным отклонениям точки от положения равновесия. С этой целью найдем скорость точки:

$$\dot{x} = -h A e^{-ht} \sin (\omega_1 t + \varphi) + A \omega_1 e^{-ht} \cos (\omega_1 t + \varphi) \quad (1.8)$$

и приравняем ее нулю. В результате будем иметь: $\operatorname{tg} = (\omega_1 t + \varphi) = \omega_1 / h$.

Иначе говоря, в моменты времени, соответствующие максимальным отклонениям точки от положения равновесия, например, в положительном направлении от оси x , следуют друг за другом через промежутки времени, равные периоду

$$T = 2\pi/\omega_1 \quad (1.10)$$

Из формулы видно, что при вязком трении периоды затухающих колебаний больше периода незатухающих колебаний, равно-го $2\pi/\omega_0$. [2]

Если обозначить через t' первый момент времени достижения точкой максимального отклонения вдоль положительного направления оси x , то последующие отклонения вдоль положительного направления оси x будут равны:

$$T' + T, \quad T' + 2T, \dots \quad T' + nT.$$

Максимальные отклонения или амплитуды затухающих колебаний $A_0, A_1, \dots A_n$, соответствующие указанным моментам времени, будут равны:

$$\begin{aligned} & A_0 e^{-ht'} \sin(\omega_1 t' + \varphi), \\ & A_1 e^{-h(t'+T)} \sin(\omega_1 t' + \varphi), \\ & \dots, \\ & A_n e^{-h(t'+nT)} \sin(\omega_1 t' + \varphi) \end{aligned}$$

при этом учтено, что

$$\begin{aligned} & \sin[\omega_1(t' + nT) + \varphi] = \\ & = \sin\left[\omega_1\left(t' + n\frac{2\pi}{\omega_1}\right) + \varphi\right] = \\ & = \sin(\omega_1 t' + \varphi + 2\pi n). \end{aligned}$$

Из формул для $A_0, A_1, \dots A_n$, видно, что отношение последующей амплитуды затухающих колебаний и предыдущей постоянно и равно:

$$\eta = \frac{A_m}{A_{m-1}} = e^{-ht} \quad (1.11)$$

Во втором случае, вместо постоянных C_1 и C_2 введем две постоянные B_1 и B_2 положив, что $C_1 = (B_1 + B_2)/2$ и $C_2 = (B_1 - B_2)/2$. Подставив эти значения C_1 и C_2 в уравнение (1.5) будем иметь: $\bar{x} = e^{-ht}(B_1 \operatorname{sh} \omega_1 t + B_2 \operatorname{ch} \omega_1 t)$. Введя опять новые

произвольные постоянные A и φ подстановкой:

$$B_1 = A \operatorname{sh} \varphi, \quad B_2 = A \operatorname{ch} \varphi, \text{ получим:}$$

$$\bar{x} = A e^{-ht} \operatorname{sh}(\omega_1 t + \varphi) \quad (1.12)$$

где $\operatorname{sh} u = \frac{e^u - e^{-u}}{2}$, $\operatorname{ch} u = \frac{e^u + e^{-u}}{2}$ - гиперболический синус и косинус [5].

Как видим, формула (1.12) внешне похожа на формулу (1.7). Однако вместо тригонометрической функции, имеющей место в уравнении (1.7), здесь имеет место гиперболическая функция, которая не является периодической. Вследствие этого, при беспредельном возрастании времени t координата x асимптотически приближается к нулю, а значит, в рассматриваемом случае движение точки не носит колебательного характера. Так как корни λ_1 и λ_2 отрицательны, этот же результат следует и из уравнения (1.5). Движение системы, которая не носит колебательного характера, получило название аperiодического.

Затем, подставляя начальные условия (при $t=0$ $x(0)=x_0$ и $\dot{x}(0)=\dot{x}_0$) в решение (1.6) и выражение скорости: $\dot{x} = -h e^{-ht}(C_1 + C_2 t) + C_2 e^{-ht}$, получим: $C_1 = x_0$, $C_2 = \dot{x}_0 + h x_0$.

Таким образом, для заданных начальных условий уравнение движения точки запишется в виде:

$$\begin{aligned} \bar{x} &= e^{-ht} [x_0 + (\dot{x}_0 + h x_0)t] = \\ &= e^{-ht} [x_0(1 + ht) + \dot{x}_0 t] \end{aligned} \quad (1.13)$$

Из формулы (1.13) видно, что в рассматриваемом случае движение не носит колебательного характера, так как при $t \rightarrow \infty$, $x \rightarrow 0$.

При наличии трения, как нетрудно показать, энергия колебаний $E(t) = m \frac{\dot{x}^2}{2} + k \frac{x^2}{2} \rightarrow 0$ при $t \rightarrow \infty$, что связано с потерей энергии на трение. Эти потери выделяются в виде тепла [1-2, 4-6].

Рассмотрим теперь влияние на систему параметра жесткости. Так как уравнения движения одно-массовой системы рассматривались в общем случае, то мы вправе использовать любые

числовые значения параметров, в том числе и нулевое. Понятно, что в реальных строительных системах всегда имеют место явления, связанные с трением. Поэтому вариант поведения динамической системы в отсутствие трения является чисто гипотетическим, интересующим нас лишь с позиции общего представления физики явления. Вследствие чего, при $h = 0$ уравнение (1.4) трансформируется в следующую формулу:

где

$$\left. \begin{aligned} \bar{x} &= A \sin(\omega_0 t + \varphi), \\ A &= \sqrt{x_0^2 + \dot{x}_0^2 / \omega_0^2}, \\ \operatorname{tg} \varphi &= x_0 \omega_0 / \dot{x}_0 \end{aligned} \right\} \quad (1.14)$$

из которой следует, что материальная точка совершает незатухающие гармоническое движение с частотой $\omega_0 = \sqrt{k/m}$ и периодом $T = 2\pi \sqrt{m/k}$. При этом, амплитуда и фаза определяется, исходя из начальных условий $x(0) = x_0$ и $\dot{x}(0) = \dot{x}_0$. В процессе колебаний полная энергия $E = m \dot{x}^2 / 2 + k x^2 / 2$ остается постоянной.

И, наконец, чтобы наше исследование однородного уравнения было полным, остановимся еще и на рассмотрении параметра массы. Как следует из уравнений (1.4 - 1.7), любое изменение массы, как в сторону уменьшения, так и в сторону ее увеличения неизбежно сказывается на динамической составляющей системы или инерционной нагрузке. Понятно, что чем меньше масса, тем меньше динамическая составляющая и период колебания системы, при этом, в реальных условиях минимальное значение массы наблюдается у воздухо-опорных и надувных системах, так как в этих случаях он определяется весом оболочки. Объективно, общее число таких объектов относительно невелико. Несколько большую перспективу в строительстве имеет применение и использование облегченных конструкций и элементов на основе легких, пористых и ячеистых бетонов. В целом, как уже отмечалось, использование снижения массы и увеличение прочностных свойств конструкций и элементов - это, в основном, прерогатива традиционной сейсмозащиты, что касается альтер-

нативной - то на ее долю приходится три оставшихся параметра: силы упругости, силы трения и силового воздействия.

Итак, общее решение x нами получено и исследовано. Чтобы определить закон движения одно-массовой системы при вынужденных колебаниях осталось определить частное решение x^* . Ограничимся простейшим, но практически важным случаем, когда вынуждающая сила изменяется по гармоническому закону. Пусть проекция возмущающей силы на ось x равна

$$H \sin(p t + \delta),$$

где H - амплитуда, p - частота возмущающей силы и δ - начальная фаза. Тогда частное решение уравнения (1.1) будем искать в виде:

$$x^* = A \sin(p t + \gamma), \quad (1.15)$$

где A и γ - неопределенные постоянные величины. Таким образом, мы предполагаем, что частное решение описывает колебания постоянной амплитуды, происходящие с частотой возмущающей силы, подставляя значения $x^*, \dot{x}^*, \ddot{x}^*$ в уравнение (1.1), получим:

$$\begin{aligned} -p^2 A \sin(p t + \gamma) + \\ + 2h p A \cos(p t + \gamma) + \\ + k^2 A \sin(p t + \gamma) = H_0 \sin(p t + \delta) \end{aligned}$$

Положив $p t + \gamma = \varphi$ и воспользовавшись соотношением:

$$\begin{aligned} \sin(p t + \delta) &= \sin(\varphi t + \delta - \gamma) = \\ &= \sin \varphi \cos(\delta - \gamma) + \cos \varphi \sin(\delta - \gamma), \end{aligned}$$

и подставив найденные отсюда значения A и γ в частное решение, получим:

$$x^* = \frac{H_0}{\sqrt{(\omega_0^2 - p^2)^2 + 4h^2 p^2}} \sin(p t + \delta + \gamma'), \quad (1.16)$$

где $\gamma' = \gamma - \delta$.

Складывая это частное решение с общим решением (1.2) без правой части, мы получаем общее решение уравнения (1.1).

Таким образом, в случае малого сопротивления ($h < \omega_0$) общее решение дифференциального уравнения (1.1) приобретает следующий вид:

$$x(t) = A e^{-h t} \sin(\omega_1 t + \varphi) + A \sin(p t + \delta) \quad (1.17)$$

В случае большого сопротивления будем иметь:

$$x(t) = A e^{-h t} \text{sh}(\omega_1 t + \varphi) + A \sin(p t + \delta + \gamma') \quad (1.18)$$

Откуда следует, что в случае малого сопротивления, движение точки системы складывается из двух колебательных движений: свободных колебаний, которые постепенно с течением времени затухают, и вынужденных колебаний, изображаемых вторым членом формулы (1.17). В случае большого сопротивления, как показывает уравнение (1.18), на вынужденные колебания налагается быстро затухающее аperiodическое движение. Кроме этого, вынужденные колебания сдвинуты по фазе относительно возмущающей силы на γ' . [1-2, 4-6]

Весьма важно заметить, что вынужденные колебания, соответствующие вторым членам в формулах (1.17) и (1.18), суть колебания гармонические; следовательно, вынужденные колебания под влиянием сопротивления не затухают. Этим вынужденные колебания существенно отличаются от свободных колебаний [1-2, 4-6].

Затем, при совпадении частоты вынуждающего воздействия с собственной частотой системы (при $p = \omega_0$), имеет место дестабилизирующий, разрушающий систему резонанс, т.е. происходит неограниченное возрастание амплитуды колебаний системы, резонанс, однако силы вязкого трения переводят резонанс в биения (рис. 2).

Итак, как видим, несмотря на свою простоту и всего четыре члена, уравнение описывает все возможные практические ситуации и все возможные конструктивные варианты как самих систем сейсмозащиты, так их узлов и элементов. Понятно, что, объективно, реальные системы не линейны и их решение и анализ много сложнее и труднее, а формулы имеют более гро-

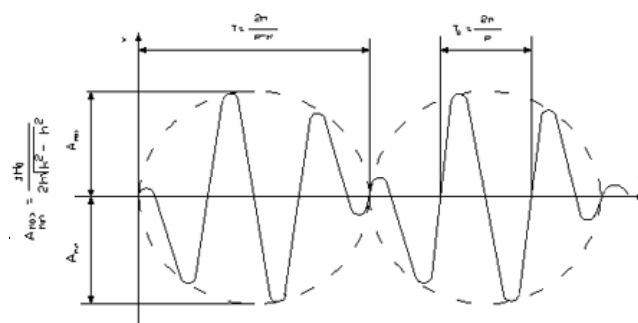


Рис.2 График биения динамических систем

моздкий вид. Однако основные закономерности и взаимосвязи между массой, силами жесткости, трения системы и силовым воздействием, рассмотренные нами при линейной постановке, имеют место и носят тот же характер и при нелинейной постановке задачи. Вследствие этого появляется возможность утверждать, что были охвачены практически все имеющие место случаи, а значит, четыре параметра рассмотренной системы являются обобщающими.

Правда, обобщение получилось уж слишком емким и значимым. А значит, нужны и требуются более детальные уточнения и пояснения – нужна конструктивная детализация. С другой стороны, имеющие место варианты классификации, при относительно высокой степени конструктивной детализации, недостаточно обобщены и систематизированы. Поэтому, само собой напрашивается вариант сведения в единое целое обоих рассмотренных нами вариантов. Таким образом, мы устраняем отмеченные ранее недостатки и тем самым приближаем классификацию к более точному отражению действительности.

В результате получаем следующую систему классификации сейсмозащиты строительных объектов (рис. 3.).

Вначале систему сейсмозащиты подразделяют на традиционную и активную сейсмозащиту.

Затем, активную сейсмозащиту подразделяют на системы на основе использования массы и сил упругости, сил внешнего и внутреннего трения и системы с программным изменением силового воздействия.

В свою очередь, системы на основе сил внешнего и внутреннего трения подразделяют на системы с большим и малым трением, а системы с программируемым изменением силового воздействия -

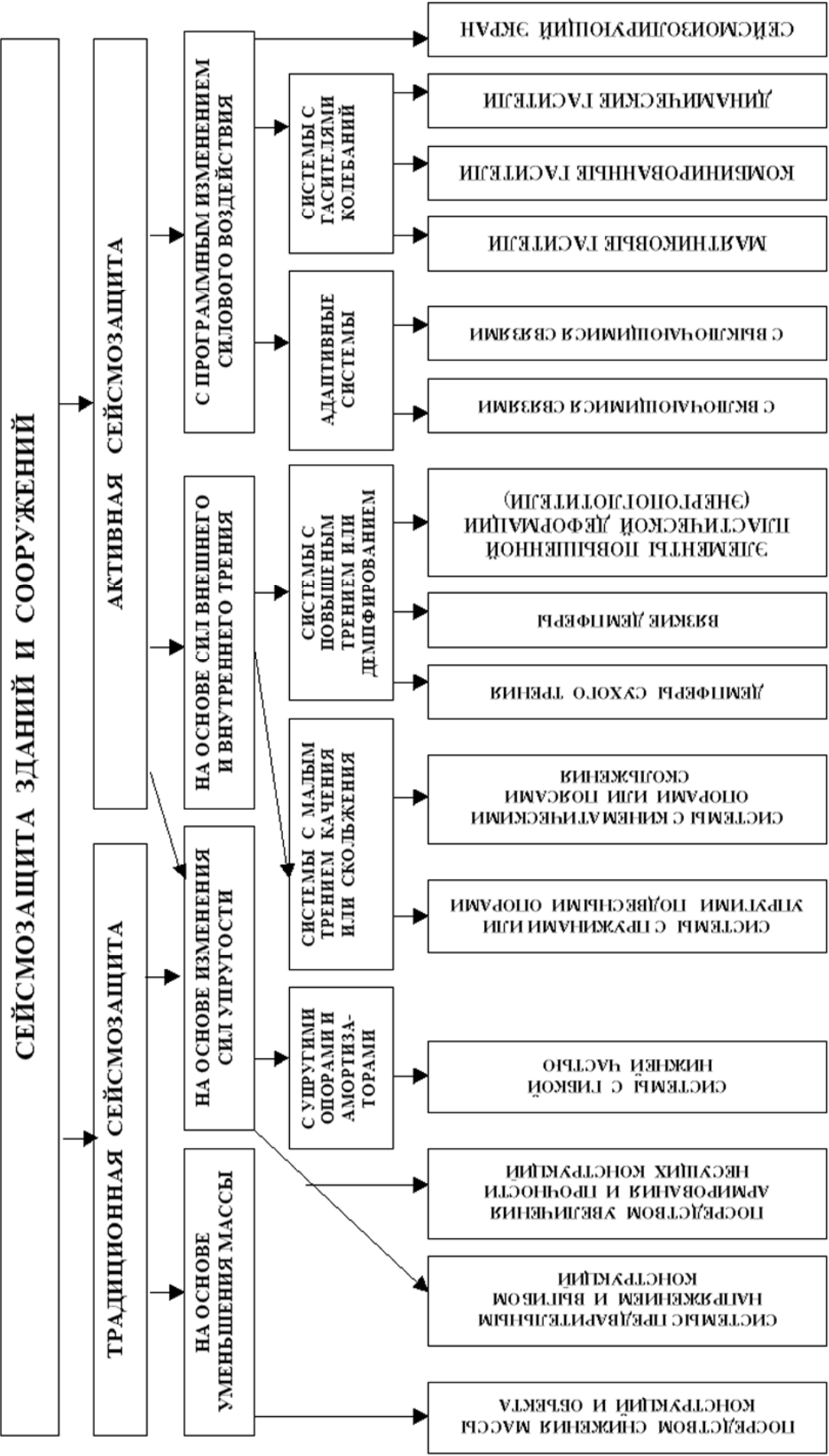


Рис.3 Классификация систем сейсмозащиты зданий и сооружений

на адаптивные системы и системы с гасителями колебаний.

На последнем уровне осуществляют конструктивную детализацию сейсмозащиты. В частности традиционную сейсмозащиту подразделяют на мероприятия, связанные со снижением массы; на системы с предварительным напряжением и выгибом конструкций; системы, связанные с изменением прочности и жесткости несущих конструкций. В защитной степени последний пункт переносится с системами с гибкой нижней частью, относящимися к группе систем

с упругими опорами и амортизаторами. В группу систем с упругими опорами и амортизаторами, кроме систем с гибкой нижней частью, так же входят системы с пружинами или с упругими подвесными опорами, системы с кинематическими опорами или поясами скольжения; данная группа является граничной и переходной и перекликается с подразделом в виде систем с малым трением и трением качения. Внешне по своему конструктивному исполнению системы похожи. Правда в отличие от систем со скользящими поясами, кинематические опоры при своем смещении поднимают центр тяжести всей системы, вследствие чего у системы возникает возвращающий момент, что ведет к увеличению устойчивости системы, а значит, может рассматриваться как явление конструктивно положительное. Другое дело, что явление подвеса центра тяжести системы, связанное с конструктивным перемещением стойки, сопровождается моментом, но, одновременно с этим, еще и явлением нелинейного изменения жесткости сейсмоизоляции, которое пока еще не достаточно проработано в теоретическом плане и, что еще более существенно, не получило достаточной практической апробации работы в условиях сильных, разрушительных землетрясений. А это значит, учитывая сложность сейсмических процессов и конструктивно-архитектурное многообразие строительных объектов, что не исключена возможность появления нежелательных и не предусматриваемых заранее негативных явлений в работе всей сейсмозащиты строительного объекта. Отсюда осторожность и перестраховка в реализации и использовании систем сейсмозащиты данного типа.

Затем идет группа систем с повышенным трением, в которую последовательно входят демпферы сухого и вязкого трения, системы с элементами повышенной пластической деформации или энергопоглотители. В группу систем с программным изменением силового воздействия входят системы с включающимися и выключающимися связями, а также динамические гасители колебаний, состоящие из маятниковых, комбинированных систем. И завершают классификацию особое направление сейсмозащиты - сейсмоизолирующие экраны, принцип действия которых сводится к устройству вокруг защищаемого объекта глубоких траншей, которые должны устранить или существенно снизить сейсмическое воздействие на объект. Однако, даже без учета технических трудностей, связанных с практической реализацией сейсмоизолирующих экранов, если исходить из длин сейсмических волн и соответствующего диаметра «лучевой трубки», то вполне ясно, что физически невозможно создать эффективную и надежную сейсмозащиту по данному принципу. Отмечаются же данные технические решения лишь в силу того, что они защищены патентами.

ВЫВОДЫ

Предлагаемый вариант классификации систем и элементов сейсмозащиты описывает и охватывает практическое большинство возможных решений как самих систем сейсмозащиты, так их узлов и элементов, что позволяет свести все имеющее многообразие и разнообразие сейсмозащиты к предлагаемому набору классов, группам и тем самым существенно сократить и минимизировать объемы необходимых практических рассуждений, сопоставлений при выборе оптимального решения экономической, эффективной и надежной сейсмозащиты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андронов А.А., Вит А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. - М.: Наука. Физмат. 1981-568 с.
2. Бутенин Н.В., Лунц Я.Л., Меркин Д.У. Курс теоретической механики. Том. 2 М.: «Наука», 1971. 464 с.
3. Казина Г.А., Климиник Л.Ш. Современные методы сейсмозащиты зданий и сооружений. Обзор. М. ВНИИИС. 1987 – 65 с.
4. Клаф р., Пензиен Дж. Динамика сооружений. Пер. с англ. – м.: Стройиздат, 1979 – 320 с.
5. Николаи Е.Л. Теоретическая механика ч.2. Динамика. Изд. 2-е М.-Л.: Гостехиздат, 1951.-484 с.
6. Поляков В.С. Сейсмостойкие конструкции зданий: Учеб. пособ. Для вузов- 2-е изд. М.: Высшая школа. 1983 – 304 с.
7. Поляков В.С., Климиник Л.Ш., Черкашин А.В. Современные методы сейсмозащиты зданий. М.: Стройиздат. 1989 – 320 с.
8. СНиП П-7-81. Строительство в сейсмических районах/Госстрой СССР – М.: Стройиздат. 1982 – 48 с.

С.Д. Нестеренко

Крымская академия природоохранного и курортного строительства

Цифровой сейсмометрический канал с компенсационной системой регистрации

В статье рассматриваются основные проблемы сейсмометрии – получения, первичной обработки, передачи и хранения сейсмометрической информации. Предлагается использовать цифровой преобразователь в сейсмометрическом канале, а для синтеза и анализа такой системы современную теорию автоматического управления. Испытания и настройка проводятся на стенде, разработанном в лаборатории сейсмометрии КАПКС.

сейсμοприемник, сейсмометрия, аналого-цифровые преобразователи, цифровая сейсмометрическая станция

Введение

Результаты современных экспериментальных научных исследований представляются в дискретной форме. Это обусловлено тем, что обработка информации ведется на ЭВМ (ПК) и тем, что хранить огромные объемы информации выгодно на цифровых носителях (Ленточные накопители – более 1 Тб; ЖД – 120 Гб; DVD – более 2 Гб; CD – 700 Мб).

В сейсмометрии актуальны задачи получения, первичной обработки, передачи и хранения цифровой информации. Последние три успешно решаются за счет применения современных информационных компьютерных технологий. Первая задача решается путем подключения к аналоговому выходу сейсμοприемника (выход на регистрирующий прибор) современного аналого-цифрового преобразователя (более 20 разрядов дискретизации по уровню) со специальным цифровым фильтром. После преобразователя цифровой сигнал записывается на устройство хранения (например, твердотельная память) или вводится в ПК. Специальный цифровой фильтр позволяет ограничить частотный диапазон сигнала и сгладить ошибки преобразования.

В этом способе решения задачи сейсмометрии остаются аналоговыми электромеханическими системами. Их улучшение осуществляется только за счет усовершенствования механической части. В статье предлагается фундаментальное изменение решения первых двух задач путем преобразования структурной схемы сейсмометрического канала, испытания и настройка которого осуществляется с помощью сейсмометрической калибровочной системы.

Сейсмометрическая калибровочная система

В лаборатории сейсмометрии и сейсмостойкости кафедры механики и сейсмостойкости сооружений КАПКС создан и более 10 лет работает стенд

для испытаний и калибровки сейсмометрической аппаратуры [1]. На его базе создана сейсмометрическая калибровочная система [2], с помощью которой калибруется стандартная сейсмометрическая аппаратура и испытываются новые разрабатываемые сейсμοприемники.

Цифровые преобразователи

Как отмечено выше, в существующих сейсмометрических устройствах используются преобразователи, с выходов которых аналоговый сигнал (напряжение или ток), соответствующий сейсмической информации, подается на АЦП, после которого регистрируется в цифровом виде. Благодаря тому, что аналоговые микросхемы выполняют операции в реальном масштабе времени, они оказались исключительно полезными при построении быстродействующих информационно-измерительных систем. Такие системы реализуют один выбранный алгоритм обработки аналогового сигнала (в частности, сейсмометрической информации), т.е. имеют постоянные амплитудную и фазовую характеристики. Нужно отметить, что при этом настройка, изменение (в случае необходимости), корректировка (при изменении параметра внутреннего элемента или изменении параметров внешнего воздействия) характеристики всего прибора требуют значительных затрат труда и времени.

Из сказанного следуют, что

- АЦП должен оцифровывать сигнал, непосредственно поступающий с первичного преобразователя относительного движения инертной массы и основания прибора;
- преобразователи, регулирующие характеристики прибора, должны иметь цифровое управление и использовать сигнал с АЦП; так как при этом преобразователи находятся в цепи обратной свя-

зи, они должны обладать высококачественными характеристиками.

Структура цифровых измерительных устройств

Современная цифровая техника позволяет конструировать множество разнообразных устройств и реализовать различные структуры измерительных приборов. Как известно, первичный измерительный преобразователь (инертная масса) является относительно низкочастотным (собственная частота от 10^{-1} до 20 Гц). Спектр входного сейсмического сигнала также расположен в низкочастотной области (от 10^{-3} до 20 Гц). Поэтому временная задержка, обусловленная использованием цифровых микросхем (от единиц мкс до десятков нс) не препятствует созданию цифрового сейсмометра.

Цифровая форма записей особенно ценна для выполнения разнообразных исследований динамики сейсмических волн, в частности, динамики реакции объекта на сейсмическое воздействие.

Исходя из опыта развития цифровых измерительных систем, можно предложить две структурные схемы цифрового сейсмометра (рис. 1) [3, 4].

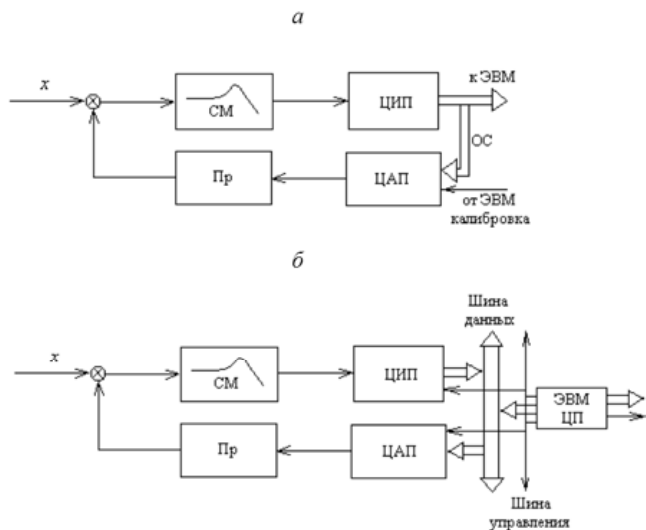


Рис. 1. Варианты структурной схемы цифрового сейсмометра

а – первый, *б* – второй.

В первой схеме (рис. 1*а*) цифровой измерительный преобразователь (ЦИП) непосредственно оцифровывает относительное движение инертной массы и основания прибора, возникающее в результате суммирования двух воздействий – внешнего и от преобразователя Пр. Да-

лее цифровой сигнал поступает на регистрацию (хранение) или обрабатывается на ЭВМ и затем – в цепь обратной связи (ОС). В цепи ОС цифровой сигнал преобразуется в аналоговый электрический сигнал в блоке ЦАП, а затем в силовое воздействие в Пр. При этом в блоке ЦАП закон преобразования может управляться сигналом с пульта или от ЭВМ. Таким же сигналом может запускаться процедура калибровки. В данной схеме большое внимание должно быть уделено точности и стабильности ЦАП и Пр, так как они находятся в цепи ОС. Для реализации поставленных требований система ЦАП должна быть достаточно сложной.

Отличие второй схемы (рис. 1*б*) состоит в формировании сигнала ОС, которое осуществляется в ЭВМ (микроконтроллер, однокристалльная ЭВМ) по заранее составленной программе. Вследствие этого ЦАП менее сложен, но ЭВМ должна обладать достаточным быстродействием.

ВЫВОД

Синтез и анализ высокоточного цифрового сейсмометрического канала, включающего в себя механические, электронные и электромагнитные устройства, наиболее эффективно проводить с помощью теории автоматического управления, используя современную теорию оптимального управления. В рамках этой теории в пространстве состояний возможен синтез и анализ цифровых сейсмометрических каналов и станций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Г.Н. Бугаевский, В.П. Белов, С.Д. Нестеренко, А.А. Герашенко. Стенд для испытаний и калибровки сейсмометрической аппаратуры. – Строительство и техногенная безопасность/Сб. научных трудов КАПКС – Симферополь: Крымская академия природоохранного и курортного строительства, 2001. – с.92-97.
2. Нестеренко С.Д. Сейсмометрическая калибровочная система. К.: Геофизический журнал №1, Т.24, 2002, с. 117-119.
3. Нестеренко С.Д. Математическое моделирование оптимального сейсмометрического канала. К.: Геофизический журнал №6, Т.23, 2001, с. 125-131.
4. Нестеренко С.Д. Цифровой сейсмометрический канал в пространстве состояний. К.: Геофизический журнал №5, Т.24, 2002, с. 117-119Е

УДК 691.54.661

М.В. Горячих, В.Г. Носатов, В.Н. Шмигальский*Крымская академия природоохранного и курортного строительства***Выбор рациональных баз снабжения предприятий железобетонных изделий компонентами бетона***Показана разработанная авторами методика получения минимальной себестоимости бетона при возможности выбора баз снабжения его компонентами***бетон, компоненты, оптимизация, карьеры, стоимость**

В настоящее время основная задача оптимизации состава бетона направлена на поиск такого соотношения компонентов, которое обеспечит заданные свойства изделий и смеси при минимуме расхода цемента. В самой же общей постановке она должна сводиться к получению наименьшей (для используемой технологии) себестоимости изделий (или кубометра бетона). Особенно чётко и обосновано на это обращено внимание в монографии [1].

Для такого рассмотрения задачи нужны не только данные по стоимости компонентов, но и возможности варьирования ими, а также знания по их совместной работе в смеси, что ещё недостаточно изучено. Особенно это важно для заполнителей. Дело в том, что как для песка, так и для щебня (гравия) имеются соответствующие стандарты. Однако в бетоне эти заполнители работают совместно смешанными. В практике наблюдаются случаи, когда неудовлетворительные по зерновому составу пески давали возможность находить такое их сочетание со щебнем (r_m), при котором их межзерновая пустотность была менее 20 % [2]. Этот же показатель весьма существенно влияет на расход вяжущего компонента, как в цементных, так и асфальтных бетонах. Поэтому пока не разработаны теоретические основы получения максимальной плотности смеси заполнителей (d_m), рекомендуется эту величину находить экспериментально [3].

Большинство современных предприятий, выпускающие сборные железобетон-

ные изделия и товарные смеси, имеют возможность выбора различных исходных материалов. Однако рационализировать этот выбор весьма затруднительно, особенно в части заполнителей и добавок в бетоны, так как отсутствует необходимая методика.

Нами предпринята попытка разработать соответствующие рекомендации по рациональному выбору компонентов бетона, дающих его минимальную себестоимость при обеспечении требуемых строительно-технологических свойств. В основу принята методика оптимизации, подробно изложенная в [4]. При наличии данных о стоимости компонентов (франко-склад предприятия) можно провести расчёты лишь для небольшого (два-три) сочетания разных компонентов. При дальнейшем увеличении выбора баз снабжения резко возрастает объём расчётов, что послужило основой разработки методики и компьютерной программы, названной «Экономическая целесообразность». Методика позволяет рассчитывать до 65 тысяч вариантов сочетаний компонентов бетона, обеспечивающих его требуемые строительно-технологические свойства.

Для расчёта необходимо ввести данные по всем требованиям к бетону и сведения об имеющихся вариантах компонентов (табл. 1).

После этого выполняется расчёт составов бетона всех вариантов и их просмотр. При этом автоматически выбирается один с минимальной себестоимостью и показываются возможности ряда близких к нему вариантов (табл. 2).

Таблица 1

Показатель	1	2
1. Параметры бетона		
1.1. Класс бетона	20 МПа	
1.2. Коэффициент изменчивости	0,14	
1.3. Максимум В/Ц	0,55	
1.4. Удобоукладываемость (индекс смеси)	3 см	
1.5. Необходимы объём продукции	115 м ³	
2. Цементы		
2.1. Поставщик	Ц 1	
2.2. Вид	ПЦ	
2.3. Активность (или марка)	35,8 МПа	
2.4. Нормальная густота (или коэффициент изменения водопотребности)	0,9	
2.5. Стоимость за 1 т	160 грн.	
3. Крупные заполнители		
3.1. Поставщик	К 1	К 2
3.2. Вид (гравий или щебень)	Г	Щ
3.3. Наибольшая крупность	40 мм	20 мм
3.4. Плотность в куске	2,67 кг/л	2,62 кг/л
3.5. Загрязнённость (по сравнению с требованиями стандарта)	Да	Нет
3.6. Стоимость за 1 т	22 грн.	30 грн.
4. Мелкие заполнители		
4.1. Поставщик	М 1	М 2
4.2. Вид	С	М
4.3. Плотность	2,64 кг/л	2,59 кг/л
4.4. Загрязнённость	Нет	Да
4.5. Стоимость за 1 т	25 грн.	18 грн.
5. Rm и Dm по каждому сочетанию заполнителей		
5.1. М 1 и К 1	0,57	810
5.2. М 2 и К 2	0,56	800
5.3. М 1 и К 1	0,58	805
5.4. М 2 и К 2	0,59	811
6. Тонкодисперсные добавки		
6.1. Поставщик	ТД 1	
6.2. Вид	Бой кирпича	
6.3. Плотность	2,75 кг/л	
6.4. Стоимость за 1 т	12 грн.	
7. Добавки-модификаторы свойств		
7.1. Поставщик	ДМ 1	ДМ 2
7.2. Вид	УПБ-М	ПФМ-БС
7.3. Процент снижения водопотребности	15	10
7.4. Расход от массы цемента, %	0,3	0,2
7.5. Стоимость за 1 т	300 грн	2000 грн.

Таблица 2

Показатель	Соста	Поставщик
1	2	3
Вариант с минимальной себестоимостью		
1. В, л	160	
2. Ц, кг	294	Ц 1
3. М, кг	650	М 1
4. К, кг	502	К 2
5. ТД, кг		
6. ДМ, кг	2,07	ДМ 1
7. Стоимость за 1 м ³ , грн	75,93	
8. Общая стоимость, грн.	8732	
Дополнительные варианты		
1. В, л	151	
2. Ц, кг	275	Ц 1
3. М, кг	674	М 1
4. К, кг	508	К 2
5. ТД, кг		
6. ДМ, кг	2,07	ДМ 2
7. Стоимость за 1 м ³ , грн	77	
8. Общая стоимость, грн.	8904	
1. В, л	168	
2. Ц, кг	346	Ц 1
3. М, кг	586	М 2
4. К, кг	496	К 2
5. ДМ, кг	1,04	ДМ 1
6. Стоимость за 1 м ³ , грн	78,54	
7. Общая стоимость, грн.	9033	

Затем лаборатория предприятия проверяет удобоукладываемость бетонной смеси и прочность бетона. В случае несоответствия проводится необходимая корректировка с применением компьютера. При этом могут быть также учтены и реализованы наиболее близкие по стоимости варианты.

ВЫВОДЫ

Разработана методика и её программное обеспечение для оптимизации состава бетонов различного назначения, позволяющая рассчитывать и выбирать наиболее целесообразные сочетания его компонентов для получения минимальной себестоимости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Файнер М.Ш. Новые закономерности в бетоне и их практическое применение. – К.: Наукова думка, 2001. – 448 с.
2. Шмигальский В.Н. Оптимизация состава цементобетон. – Кишинёв: Штиинца, 1981. – 124 с.
3. Горячих М.В. Ресурсоэкономное определение плотности смеси сухих заполнителей и оптимального их расхода в бетонах. – Строительство и техногенная безопасность / Сб. научн. тр. КИПКС. – Симферополь, 1999. – С. 118-122 с.
4. Методические указания к оптимизации состава цементобетон. – Симферополь: КАПКС, 2002. – 20 с.

У.М. Куркчи, А.С. Меметова

Крымская академия природоохранного и курортного строительства

Комплексная переработка медьсодержащих биметаллических отходов анодным сульфидированием

Рассмотрен способ переработки высокожелезистых биметаллических отходов анодным сульфидированием. Получены сульфид меди (II) и дополнительно стальная основа биметалла.

биметалл, отходы, переработка, медь, железо

Особую трудность в переработке сырья шахтной плавкой представляют высокожелезистые биметаллические отходы, содержащие 8-10% меди, 0,8-1% цинка и до 90% железа. В результате шахтной плавки этого вида сырья достаточно полно извлекается только медь, а железо в значительном количестве переводится в шлак и безвозвратно теряется. Поэтому разработка технологии переработки биметаллических отходов, позволяющая извлекать наряду с медью металлическое железо, имеет большое практическое значение. Анализ литературных данных показывает, что наиболее перспективным способом переработки биметаллических отходов является гидрометаллургический с использованием аммиачных и аммиачно-сульфатных растворов [1-4]. Электролитическое растворение плакированной меди в биметаллических отходах в аммиачно-сульфатных растворах при катодных плотностях тока $100-700 \text{ А/м}^2$ позволяет получать медь в виде катодного металла или порошка [2].

Анодная плотность тока не должна превышать 650 А/м^2 , ибо в противном случае, происходит пассивация медного покрытия. Расход электроэнергии – 4500 кВт.ч/т меди; катодный выход меди по току 75-77%.

Продолжительность электролиза 6-8 часов, извлечение плакирующего слоя в раствор 98,5-99,5%.

Стальная основа биметалла остается при этом в неизменном виде и представляет качественное сырье для черной металлургии или может быть использована для цементации меди из кислых растворов.

Однако электролитический способ обезвреживания биметаллических отходов в указанных растворах имеет существенные недостатки:

- относительно высокая летучесть аммиака определяет необходимость установки дорогостоящего адсорбера и вентиляционных систем для улавливания и очистки токсичных веществ;
- относительно высокая скорость анодного растворения плакированной меди по сравнению со скоростью ее катодного осаждения вызывает необходимость вывода определенной части электролита на ванны обеднения с последующим цементационным осаждением остаточного металла.

Указанные недостатки этого способа, являющиеся причинами многостадийности и сравнительно невысоких технико-экономических показателей процесса, обуславливают необходимость проведения дальнейших исследований в этом направлении, обращая при этом особое внимание на поиски эффективных и нетоксичных электролитов, позволяющих селективно извлекать все сопутствующие биметаллу полезные компоненты.

В настоящей работе проведены исследования по переработке биметаллических отходов в сульфидно-щелочном электролите и применению обезмеженной стальной основы для цементации меди из растворов кучного выщелачивания. В качестве сырья в этих исследованиях были использованы гильзы патронов, являющиеся одним из самых трудноперерабатываемых видов биметаллических отходов. Эти отходы имели следующий усредненный состав (%): Cu - 5,7; Zn 0,8 - 1,0; Fe до 90.

Сущность исследования состоит в том, что при анодном сульфидировании, плакированная медь биметалла сначала ионизируется до катионов Cu^{2+} , которые затем взаимодействуют в прианодном слое с сульфид-ионами с образованием труднорастворимого сульфида меди (II)

(Произведение растворимости CuS $= 3 \cdot 10^{-38}$) [5]. Последний по мере образования отслаивается от поверхности стальной основы в виде черного порошка; стальная основа при этом остается неизменной. Полученную механическую смесь, стальную основу и сульфид меди (II), промывали от растворимых ионов S^{2-} водой и сушили в сушильном шкафу при температуре $80 - 120^\circ\text{C}$ в течение 6-12 часов. Отделение сульфида меди (II) от стальной основы производили механическим отсевом.

Опыты проводили в электролизере емкостью 1,0 л, снабженным перфорированной анодной корзиной размером $D=110\text{мм}$; $H=180\text{мм}$.

Общий объем раствора – 1,8 л. Скорость циркуляции электролита – 1 л/час. В каждом опыте в перфорированную корзину загружалось 230г биметалла. В качестве электролита в этих опытах применяли сульфидно-щелочной электролит состава (г/л): $\text{Na}_2\text{S} - 85,5$; $\text{NaOH} - 38,0$.

Анодное сульфидирование в указанном электролите проводили в широком интервале изменений значений плотностей тока ($300 - 4000 \text{ А/м}^2$) при продолжительности процесса 4-12 часов (табл.1, 2).

Следует при этом отметить, что в общем случае процесс сульфидирования плакирующей меди протекает достаточно эффективно и с количественным выходом. Однако в связи с тем, что в перерабатываемых гильзах имеются труднодоступные участки, из которых сульфид меди (II) механически трудно отделяется от стальной основы, то полное извлечение меди в товарную продукцию не происходит. При этом часть сульфида меди (II) остается на внутренней поверхности гильз, углублениях вокруг капсюлы и других местах биметалла.

Как видно из табл. 1, в интервале анодной плотности тока $300 - 500 \text{ А/м}^2$ извлечение меди в товарный сульфид меди (II) составляет 78,3-80%. При дальнейшем увеличении плотности тока до 4000 А/м^2 извлечение меди в продукт снижается до 30,3-62,4%.

Причиной этому является то обстоятельство, что большие плотности тока способствуют образованию более плотного слоя сульфида меди (II), который трудно удаляется с поверх-

Таблица 1

Влияние анодной плотности тока на извлечение меди и железа из биметаллических отходов $\text{QFeCu}=230\text{г}$, $t=12\text{ч}$

№ п/п	Условия анодного сульфидирования плакирующей меди				Масса, г		Состав сульфидного осадка, %				Общее извлечение металла, %	
	$D_A, \text{А/м}^2$	$D_K, \text{А/м}^2$	U, В	T, $^\circ\text{C}$	стальной основы	сульфидного осадка	Cu	Fe	Zn	S	Fe (от его содержания в биметалле)	Cu
1	100	10,4	0,5-0,1	25-30	214,6	35,2	29,8	9,5	1,5	20,6	93	80
2	500	62,6	0,9-1,0	43-50	215,9	34,7	29,6	8,92	1,74	21,53	93,9	78,3
3	1000	93,9	1,0-1,2	45-50	215	28,8	24	7,03	0,96	17,99	93,5	53,5
4	2200	209	3,1-3,8	23-35	218,6	34,1	24	12	0,95	29,68	95	62,4
5	3000	281,2	3,1-3,8	45-50	223	26,7	26,4	15,62	2,5	22,66	97	53,8
6	4000	386	4,6-4,7	38-50	223	15,4	25,78	5,91	4,05	20,82	97	30,3

Таблица 2

Влияние продолжительности процесса на извлечение меди и железа из биметаллических отходов $\text{Q}_{\text{FeCu}}=230\text{г}$, $D_A=500\text{А/м}^2$, $D_K=62,6\text{А/м}^2$

№ п/п	Условия анодного сульфидирования плакирующей меди			Масса, г		Состав сульфидного осадка, %				Общее извлечение металла, %	
	U, В	T, $^\circ\text{C}$	t, ч	стальной основы	сульфидного осадка	Cu	Fe	Zn	S	Fe (от его содержания в биметалле)	Cu
1	0,9-1,0	45-50	4	225	20,4	26,3	11,2	0,83	20,5	89	40,9
2	0,9-1,0	45-50	6	221,1	35,6	27,3	10,2	1,2	22,6	82,5	74,1
3	0,9-1,0	45-50	10	217,6	34,6	26,8	9,5	0,9	21,5	84,1	70
4	0,9-1,0	45-50	12	215,9	34,7	29,6	8,92	1,74	21,53	85	78,3

ности стальной основы на стадии механического разделения компонентов.

При оптимальной плотности тока ($D=500 \text{ А/м}^2$) извлечение меди в товарную продукцию зависит от продолжительности анодного сульфидирования (табл. 2). По мере увеличения продолжительности с 4 до 6 часов извлечение меди в сульфидный концентрат сначала повышается с 40,9 до 74,11, а затем при дальнейшем продолжении процесса остается практически без изменения. Лучшие результаты достигаются при продолжительности процесса 6-12 часов, когда извлечение меди в сульфидный концентрат составляет 70,0-78,3%.

Анализ, приведенных выше результатов, показывает, что анодное сульфидирование биметаллических отходов является достаточно эффективным и производительным процессом. Этот способ позволяет в одну технологическую стадию превратить в сульфид меди (II), который затем до 80% извлекается в богатый сульфидный концентрат (Cu 24-30%); последний может быть переработан на медных предприятиях известными способами. При этом дополнительно получают стальную основу биметалла, выход которой составляет 98-99,5% от общего ее содержания в исходном биметалле. Однако полученная анодным сульфидированием биметаллических отходов стальная основа содержит в отдельных участках поверхности сульфид меди (до 20 и более процентов) от содержания меди в биметаллах. Поэтому этот продукт может быть использован только в качестве восстановителя при цементации меди из сернокислых растворов кучного выщелачивания. Можно ожидать, что подобное использование "обезмеженной" стальной основы позволит полностью доизвлечь остаточную на ее поверхности медь в цементный осадок на стадии цементации меди из сернокислых растворов.

ВЫВОДЫ

1. Проведены исследования и отработаны технологические параметры по переработке биметаллических отходов в сульфидно-щелочном электролите.
2. Показано, что анодное сульфидирование биметаллических отходов является достаточно эффективным и производительным процессом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Худяков И.Ф., Кабанов Л.М., Дорошкевич А.П., Мазаник В.Н., Ермаков В.И. /Цветные металлы. – 1976. - №2. – С.13-14.
2. Карелов С.В. Исследования в области комплексной переработки вторичного медного сырья с высоким содержанием железа // Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. – Свердловск, 1978. – 23с.
3. Дорошкевич А.П. и др. Полупромышленные испытания технологии переработки высокожелезистых медьсодержащих отходов // Бюллетень "Цветная металлургия". – 1978. - №2. – С.28-30.
4. Дорошкевич А.П. и др. Комплексная переработка биметаллических отходов // Тезисы докладов Всесоюзной конференции "Комплексное использование сырья и создание безотходного производства в цветной металлургии". – М.: Цветметинформация, 1978. – С.82-83.
5. Куркчи У.М., Матренкин В.Ф., Руденко Б.И. и др. Способ переработки металлических железо- и медьсодержащих отходов: а.с. № 981453. Бюллетень № 46.

П.Г. Лавринев, Н.В. Любомирский, О.Н. Олейник

Крымская академия природоохранного и курортного строительства

Опыт применения промотходов Крымского региона в производстве строительных материалов

В работе рассматриваются вопросы изготовления ксилолита на основе промотходов Крымского региона, приведены оптимальные составы ксилолитовой смеси, условия ее твердения и набора прочности, изучены прочностные характеристики ксилолита от плотности затворителя, соотношения раствора затворителя и массы вяжущего и др.

ксилолит, магнезиальное вяжущее, жженая магнезия, хлористый магний, опилки древесные, раствор затворителя, теплопроводность.

Возрастающая необходимость экономного расходования сырьевых и энергетических ресурсов, сохранения окружающей среды все больше повышает интерес к различным отходам производства, научно обоснованное использование которых дает значительный экономический эффект. Использование этих отходов и вторичных продуктов других отраслей в производстве строительных материалов обеспечивает экономию не только природных ресурсов, но и увеличивает рост объектов промышленного и гражданского строительства, особенно индивидуально-го сектора.

В последние годы в связи с нехваткой и дороговизной портландцемента исследователи вновь вернулись к изучению и применению ранее забытых магнезиальных вяжущих веществ, изделий и конструкций на их основе, в частности – ксилолита. Для производства ксилолита экономически выгодно и целесообразно использовать отходы и вторичные продукты химических производств и деревообрабатывающей промышленности.

Изучением ксилолита на основе промышленных отходов занимались исследователи В.Н. Ляшенко, И.П. Овчинников, П.Г. Лавринев, А.И. Шумейко и др. В ранее опубликованных работах рассматривали в основном вопросы, связанные с технологией производства ксилолита и его прочностных характеристик. Так как ксилолит на основе отходов промышленных производств является сравнительно дешевым и эффективным строительным материалом, необходимо, на наш взгляд, более детально подойти к его изучению. В частности, рассмотреть вопросы об оптимальных составах ксилолитовой смеси, об условиях ее твердения и набора прочности, изучить зависимость прочностных харак-

теристик ксилолита от плотности затворителя, соотношения раствора затворителя, массы вяжущего и др.

В Крымской академии природоохранного и курортного строительства проведены исследования по применению отходов жженой магнезии химических производств Крыма и отходов деревообрабатывающей промышленности в производстве ксилолита. Впервые ксилолит как эффективный агрессивностойкий и малотеплопроводный строительный материал предложил в нашей стране в 1916г. профессор И.Е. Кириенко. Однако бурное развитие бетона и железобетона на основе гидравлического вяжущего – портландцемента и его разновидностей отодвинуло на второй план изучение и применение этого вида строительного материала.

В исследованиях использовали отходы жженой магнезии химических производств Крыма следующего состава, мас., %: окись магния 78...80, окись кальция 3,8...4,2, кремнезем 3,6...3,8, потери при прокаливании 15...17. Данный оксид магния относится к третьему классу, затворитель – водный раствор хлористого магния плотностью 1,1...1,3 г/см³, заполнитель – древесные опилки с влажностью не более 8 %, просеянные через сито с отверстиями 10 мм. Для придания ксилолитовым плитам декоративных свойств использовали в качестве красящих пигментов сухие минеральные краски, а именно: сурик, охра, окись хрома. Краски были тщательно измельчены, однородны по составу, стойки к действию света, щелочей, кислот, не содержали примесей мела, извести и других загрязнителей.

Для приготовления ксилитовой смеси просеянные опилки через сито с отверстиями 10 мм и высушенные до влажности не более 8% загружали в бетоносмеситель принудительного действия для перемешивания с вяжущим (окисью магния). Вяжущее подготавливали в растворомешалке, куда сначала засыпали жженую магнезию и красящие пигменты, а затем заливали раствор хлористого магния. Тщательно перемешанное вяжущее с красящими пигментами сливали в бетоносмеситель, где находилось отмеренное количество опилок и перемешивали в течение 4...5 мин. до получения однородной массы. Приготовленную ксилолитовую смесь укладывали в формы и уплотняли на виброплощадке с пригрузом. Опытные образцы до начала испытаний выдерживали в естественных условиях в течение 28 суток. Прочностные характеристики ксилолита определяли в соответствии с ГОСТ 10180.

Анализ полученных экспериментальных результатов показывает, что с увеличением плотности хлористого магния прочность затвердевшего ксилолита увеличивается (табл. 1). Оптимальное значение плотности хлористого магния составляет 1,18...1,22 г/см³.

Уменьшение плотности менее 1,18 г/см³ приводит к снижению механической прочности ксилолита. Твердеющий цементный камень может растрескаться вследствие значительного выделения тепла при твердении. С увеличением плотности хлористого магния схватывание и твердение магнезиального вяжущего замедляется, но конечная прочность цементного камня повышается.

При анализе результатов испытаний ксилолитовых образцов на осевое сжатие было обнаружено, что в случае приложения сжимающего усилия параллельно действию пригруза, значение разрушающей нагрузки в среднем на 20...23% выше, чем в образцах, сжимающее усилие которых перпендикулярно к направлению действия пригруза. Это явление можно объяснить тем, что в процессе уплотнения ксилолитовой смеси заполнитель – древесные опилки располагаются в основном перпендикулярно к направлению действия пригруза. Благодаря такому расположению

опилок происходит увеличение прочности на растяжение в поперечном направлении и образца в целом при осевом сжатии [1].

Таблица 1

Зависимость прочности на сжатие ксилолита от плотности затворителя

№ п.п.	Плотность затворителя, г/см	Прочность на сжатие, МПа, через сут.	
		14	28
1	1,1	2,4	5,1
2	1,15	3,8	7,4
3	1,2	4,5	9,8
4	1,25	5,8	10,3
5	1,3	6,2	11,5

Твердение магнезиального вяжущего основано на образовании гидроокиси магния Mg(OH), которая в виде кристаллов выпадает в осадок из пересыщенного раствора. Кроме гидроокиси магния образуются оксихлориды $3\text{MgO} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, а процесс твердения происходит только при положительной температуре не ниже 15 °С.

В данной работе также изучали зависимость прочности на осевое сжатие ксилолита от соотношения раствора затворителя и массы магнезиального вяжущего. Результаты этих исследований представлены в таблице 2.

Таблица 2

Зависимость прочности на сжатие ксилолита от соотношения раствора затворителя и массы вяжущего

№ п.п.	Соотношение раствора затворителя к массе вяжущего	Прочность на сжатие, МПа, через сут.	
		14	28
1	0,3	1,9	2,2
2	0,4	3,4	6,2
3	0,5	5,1	9
4	0,6	7	10,9
5	0,7	5,9	8,1

Анализ полученных результатов, представленных в табл. 2 показывает, что с увеличением отношения раствора затворителя к массе магнезиального вяжущего прочностные свойства ксилолита увеличиваются. Наиболее оптимальным соотношением раствора затворителя к массе магнезиального вяжущего является 0,58...0,63.

Уменьшение этого отношения затрудняет качественно перемешивать и уплотнять ксилолитовую смесь. Из-за образующихся пор в результате недоуплотнения ксилолитовой смеси происходит снижение физико-механических свойств самого ксилолита. Увеличение соотношения раствора затворителя к массе магниезального вяжущего сильно замедляет схватывание и твердение магниезального вяжущего. Плотность раствора хлористого магния в этих экспериментах была принята равной $1,2 \text{ г/см}^3$.

Одним из важнейших свойств теплоизоляционных материалов является его теплопроводность. О теплопроводности материала часто судят по его средней плотности: чем меньше средняя плотность материала, тем меньше его теплопроводность. В таком материале как ксилолит теплопроводность на прямую зависит от расхода древесины и представлена в таблице 3.

Таблица 3

Зависимость средней плотности ксилолита от расхода древесных опилок

№ п.п.	Расход древесных опилок, кг/м^3	Средняя плотность ксилолита, кг/м^3
1	100	1670
2	120	1530
3	140	1310
4	160	980
5	180	870
6	200	610

При проведении данных опытов расход магниезального вяжущего был принят постоянным и равнялся 500 кг на 1 м^3 смеси. Анализ полученных результатов, представленных в табл. 3 показывает, что с увеличением расхода древесных опилок от 100 до 200 кг/м^3 средняя плотность затвердевшего в течение 28 суток ксилолита уменьшается, следовательно, уменьшается его теплопроводность. Наиболее оптимальные результаты были получены при расходе древесных опилок $155 \dots 165 \text{ кг/м}^3$. Средняя плотность затвердевшего ксилолита составила $900 \dots 1000 \text{ кг/м}^3$ [2].

Для теплоизоляционных материалов очень важным свойством является их водостойкость, от которой во многом зависит и область их применения. Для повышения водостойкости ксилолитовые образцы пропитывали гидроизоляционным материалом, па-

рафином. Образцы ксилолита укладывали в контейнер и помещали в термокамеру, где их нагревали до температуры $65 \dots 70^\circ \text{C}$. Нагретые образцы опускали в емкость с горячим парафином на 20 мин. После пропитки контейнер с образцами вновь помещали в термокамеру на $5 \dots 6$ часов. Анализ проведенных испытаний ксилолитовых образцов показал, что водопоглощение пропитанных образцов за 24 часа пребывания в воде составило $5 \dots 6$, а непропитанных – $18 \dots 20\%$ по массе [3,4].

Таким образом, жженую магнезию, являющуюся промышленным отходом Крымского региона, можно использовать для производства стенового камня из ксилолита. В настоящее время в Крыму планируется на основе жженой магнезии наладить производство стенового камня из ксилолита и облицовочной плитки.

В связи с этим, научно-исследовательские работы по изучению ксилолита, как эффективного строительного материала, необходимо продолжить.

В область дальнейших исследований необходимо включить изучение деформативных свойств ксилолита, его теплопроводности и морозостойкости, а также рассмотреть вопросы о расширении области применения ксилолита как конструкционно-теплоизоляционного материала.

ВЫВОДЫ

1. На основе жженой магнезии, являющейся промышленным отходом Крымского региона, можно изготавливать ксилолит, обладающий достаточно высокими физико-механическими свойствами.
2. Ксилолит на основе жженой магнезии можно использовать для производства стенового камня, облицовочной плитки, теплоизоляционного материала и тем самым улучшить экологическую обстановку в регионе функционирования химических производств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.Н. Ляшенко. «Ксилолит – конструкционный материал», «Строительные материалы и конструкции», -1990, -№2, -С.11-12.
2. П.Г. Лавринев «Ксилолит из отходов жженой магнезии», «строительные материалы и конструкции», -1992, -№1, -С.12-13.
3. Т.Ю. Химерик, Э.М. Долгий, Г.С. Томин «Использование отходов деревообрабатывающей промышленности в строительстве», -К.: Будивельник, 1989. –96с.
4. С.А. Генсирук «Использование и воспроизводство лесных ресурсов УССР». –К.: Наукова думка, 1986, -312с.

П.Г. Лавринев, Ю.А. Шепляков, И.С. Свищ

Крымская академия природоохранного и курортного строительства

В.И. Гуйтур

Николаевский государственный педагогический университет

Пенобетон на основе отходов химических производств

В работе рассматриваются вопросы утилизации отходов суперфосфатного производства при изготовлении пенобетона на основе жидкого стекла, подобраны оптимальные составы пенобетонной смеси, изучены основные физико-механические свойства пенобетона.

суперфосфатное производство, силикатный шлам, стекловолокно, пенообразователь, стадия нейтрализации, пенобетон, матрица.

Возрастающая необходимость экономного расходования сырьевых и энергетических ресурсов, сохранения окружающей среды все больше повышает интерес исследователей к различным отходам и вторичным продуктам других отраслей, научно обоснованное использование которых в производстве строительных материалов дает значительный экономический эффект.

В индустриальном строительстве одной из проблем, требующей неотложного решения, является энергосбережение, достигаемое путем создания и применения высоко-эффективных теплоизоляционно-конструкционных материалов. Такие материалы должны иметь низкую теплопроводность, длительный срок эксплуатации, быть достаточно прочными, экологически чистыми и не разрушаться под действием атмосферных явлений во время эксплуатации.

Одним из таких теплоизоляционно-конструкционных материалов, изготавливаемых на основе отходов суперфосфатного производства, является пенобетон.

Утилизацией отходов суперфосфатного производства ранее занимались исследователи Маркан И.Ф., Заволока М.В., Побокин А.А., Нечитайло Л.А. и другие. В качестве армирующей матрицы компонента они использовали минеральную вату. При этом теплоизоляционные изделия, полученные на основе применения минеральной ваты, имели достаточно низкие физико-механические свойства.

В Крымской академии природоохранного и курортного строительства проведены исследовательские работы по утилизации отходов суперфосфатного производства при изготовлении пенобетона на основе жидкого стекла. Одной из

основных причин, связанных с проблемой утилизации данного вида отходов, является большое водосодержание, которое достигает до 65...70 % по массе. Поэтому материальные затраты на перевозку или сушку данных отходов являются экономически нецелесообразными. Но, вместе с тем, утилизация отходов суперфосфатных заводов в настоящее время очень важна, так как, во-первых, затраты на нейтрализацию и осветление кислых стоков поступивших из цеха гранулированного суперфосфата, криолита, отделения сушки суперфосфата растут пропорционально выпуску готовой продукции; во-вторых, выбрасывается вторичный продукт, который может с успехом применяться в производстве минеральных вяжущих веществ, например, жидкого стекла, портландцемента и его разновидностей и т. д.; в третьих, улучшается экологическая обстановка в регионе расположения суперфосфатных заводов.

Для обоснования оптимального состава рабочей пенобетонной смеси, обеспечивающей высокие физико-механические свойства пенобетона на основе жидкого стекла, экспериментальные исследования проводились нами по ранее разработанной методике, описанной в работах [1,2]. С целью определения оптимальных составов и получения пенобетона с наиболее высокими физико-механическими свойствами варьировали количеством составляющих пенобетонной смеси в широком интервале, а именно: отходы производства 100-300кг, жидкое стекло плотностью 1,25-1,45 г/см³ 100-300кг, кремнефтористый натрий 30-80кг, раствор хозяйственного мыла 25-45л и щелочестойкое стекловолокно 20-60 кг в расчете на 1 м³ пенобетонной смеси. Стекланные волокна имеют диаметр от 8 до 10 мкм и по прочности соответствуют высокоуглеродистой холоднотянутой прово-

локе, а по плотности в 3,5 раза легче ее. Это предопределяет реальные возможности применения стеклянных волокон в качестве эффективного армирующего материала, позволяющего улучшить физико-механического свойства пенобетона: повышает предел прочности при растяжении, трещиностойкость, сопротивление ударным и вибрационным воздействиям [3].

Для изготовления пенобетона использовали технический кремнефтористый натрий, жидкое стекло модулем 2,4-2,6, силикатный шлам, стекловолокно и отходы производства, образующиеся после стадии нейтрализации. Силикатный шлам в качестве отхода образуется после выделения растворов фтористого натрия и фтористого алюминия из суперфосфатного сырья. Отходы производства после стадии нейтрализации представляют собой отработанные стоки предприятия.

Для уменьшения концентрации фтора в воде с 30-40 мкг/л до нормативной 10 мкг/л отходы производства нейтрализуют известковым молоком плотностью 1,1-1,2 г/см³. После стадии нейтрализации отходы производства осаждаются в прудах-отстойниках.

Для проведения экспериментальных исследований использовали отходы производства после стадии нейтрализации имеющие следующий химический состав, проц. мас.: SiO₂ 56-58, Ca 14,5-15,6, SO₂ 6,8-7,4, P₂O₅ 0,8-1,2, Mn 2,5-2,9, F 8,9-9,8, остальное вода. Технология изготовления пенобетона на основе отходов суперфосфатного производства заключается в следующем. Силикатный шлам и отходы после стадии нейтрализации через накопитель, вакуум-фильтр, раздаточный бункер и дозатор подают в пенобетоносмеситель. Сюда же с помощью насоса подается жидкое стекло. Щелочестойкое стекловолокно, играющее роль армирующего компонента, и кремнефтористый натрий со склада через накопительные бункера и дозаторы подают в пенобетоносмеситель. Для приготовления пенообразователя применяли хозяйственное мыло, которое загружали в бак с мешалкой, где готовили мыльный раствор нужной концентрации. Затем этот раствор через накопительный бак и дозатор поступает в пеносбиватель, откуда через 8-10 мин в виде пены подается в пенобетоносмеситель. Приготовленная пенобетонная смесь бадьей заливается в металлические формы. После сушки изделия из пенобетона отправляют на склад готовой продукции. В результате проведения экспериментальных исследований были определены наи-

более оптимальные составы пенобетонной смеси, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1

Оптимальные составы пенобетонной смеси

№ п/п	Составляющие пенобетона	Расход составляющих, кг/м ³ , при плотности пенобетона, кг/м ³		
		300	400	500
1	Силикатный шлам после нейтрализации	160	210	260
2	Жидкое стекло плотностью 1,4 г/см ³	160	210	260
3	Кремнефтористый натрий	60	70	80
4	Раствор хозяйственного мыла, л/м ³	45	40	35
5	Щелочестойкое стекловолокно	50	40	30

Анализ полученных результатов показал, что с увеличением расхода силикатного шлама, взятого после стадии нейтрализации, плотность пенобетона возрастает. Кроме того установлено, что с повышением водосодержания силикатных шламов физико-механические свойства пенобетона ухудшаются. Наиболее оптимальное водосодержание шлама должно составлять 40-45% по массе. На свойства пенобетона также влияет и плотность жидкого стекла, которая по результатам исследований должна находиться в пределах не ниже 1,35 г/см³.

В проведенных исследованиях были также изучены прочностные характеристики пенобетона на осевое сжатие и изгиб. Для испытаний на осевое сжатие изготавливали стандартные образцы-кубы размером 10х10х10 см, а для определения предела прочности при изгибе – балочки размером 10х10х40 см. Испытания проводили по существующему ГОСТ 10180. Теплопроводность пенобетона определяли на приборе ИТСМ-1 («Испытание теплопроводности строительных материалов»). Для испытаний изготавливали образцы размером 25х25 см. Высота образцов была принята 5,7 и 10 см.

Результаты испытаний представлены в таблице 2.

Таблица 2.
**Зависимость коэффициента
теплопроводности пенобетона от его
плотности**

№ п/п	Показатели свойств пенобетона	Плотности пенобетона, кг/м ³		
		300	400	500
1	Предел прочности, МПа:			
	а) при сжатии	1,7	2,1	2,6
	б) при изгибе	1,1	1,6	1,9
2	Коэффициент теплопроводности, Вт/м·с	0,081	0,096	0,136

Анализируя прочностные характеристики полученного пенобетона, можно заметить, что прочность при изгибе является достаточно высокой в сравнении с прочностью на осевое сжатие. Пенобетон, дисперсно армированный стекловолокном, является типичным композиционным материалом с характерными для него особенностями и свойствами. Как правило, в таких материалах сочетаются обладающая сравнительно небольшой прочностью при растяжении матрица, какой в нашем случае является пенобетон, и характеризующиеся значительным сопротивлением разрыву и более высоким по сравнению с матрицей модулем упругости тонкие стекловолокна, рассредотачиваемые в объеме матрицы. Упрочнение стекловолокнами основывается на предположении, как и в традиционно армированных структурах, что материал пенобетонной матрицы передает стекловолокнам приложенную нагрузку посредством касательных напряжений, действующих на поверхности раздела и так как модуль упругости стекловолокна значительно больше модуля упругости матрицы, то основную долю приложенных напряжений воспринимают стекловолокна, а общая прочность композиции пропорциональна их объемному содержанию [3,4].

В данной работе рассматривался также вопрос о транспортировании приготовленной пенобетонной смеси. Ее транспортировку можно осуществлять растворонасосом непосредственно из смесителя или промежуточной емкости, сжатым воздухом под давлением по металлическому рукаву, а также в бункере с помощью подъемно-транспортного оборудования.

Формование изделий из пенобетона необходимо осуществлять в металлических формах. Для предотвращения сцепления пенобетона с поверхностью формы стенки ее следует покрывать водно-масляными суспензиями, машинным маслом, смазкой ОЭ-2

и другими составами, применяемыми в производстве сборного железобетона. В целях экономии производственной площади изделия из пенобетона можно изготавливать в вертикальных формах, кассетах. Формы должны заполняться пеномассой непосредственно после ее приготовления в течение не более 15-20 мин. После заполнения формы поверхность смеси заглаживается [2].

Изделия из пенобетона на основе жидкого стекла и отходов суперфосфатного производства могут твердеть в естественных условиях при температуре не ниже +15 °С. С целью интенсификации процесса производства пенобетона отформованные изделия без предварительной выдержки можно загружать в тепловую камеру с температурой среды до 25 °С. Тепловую обработку изделий из предлагаемого пенобетона можно выполнять по следующему режиму, ч: выдержка 3, подъем температуры до 65-70 °С 3-4, изотермический прогрев 4 охлаждение 2.

ВЫВОДЫ

1. Разработанная технология позволяет утилизировать отходы суперфосфатного производства, обеспечить экономии энергетических, материальных и природных ресурсов, улучшить экологическую обстановку в регионе функционирования заводов суперфосфатного производства.
2. Разработанные теплоизоляционные материалы на основе отходов суперфосфатного производства могут применяться для теплоизоляции кровель, теплопроводов, промышленных холодильных камер, а так же обеспечить рост объемов промышленного и гражданского строительства, особенно индивидуального сектора.

Экспериментальные исследования в этой области можно и целесообразно продолжить. Необходимо изучить влияние высоких (600 °С и выше) температур на структуру и физико-механические свойства пенобетона и в связи с этим расширить область его применения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маркан И.Ф., Гусак Н.И., Заволока М.В., Мильота А.А. Пенобетон на основе жидкого стекла. Бетон и железобетон, - 1983, -№9, С.18-19.
2. Маркан И.Ф., Заволока М.В., Побокан А.А., Нечитайло Л.А. Отходы суперфосфатного производства – эффективное сырье для пенобетона. Бетон и железобетон, -1990, -№2 – С.14-15.
3. Рабинович Ф.Н. Бетоны, дисперсно армированные волокнами. //Промышленность строительных материалов. Сер.3 – Реф. сб./ ВНИИЭСМ (Промышленность сборного железобетона). –М., 1976.-72с.
4. Лавринев П.Г. Технология роликового формования изделий из мелкозернистых бетонов с принудительным поворотом рабочего органа. – Автореф. дисс. на соиск. уч. степени канд. техн. наук. – М., НИИЖБ, 1983.-20с.

М.А. Лукьянченко

Крымская академия природоохранного и курортного строительства

Технология получения известняковых строительных материалов на основе механоактивированного силикат-натриевого вяжущего

механоактивация, технология, силикат-глыба, пиритные огарки, известняк, силикат-натриевые связи

Разработана технология изготовления строительных материалов на основе механоактивированного силикат-натриевого вяжущего с добавкой известняка и пиритных огарков путем модифицирования этим вяжущим известнякового заполнителя. Изучены структура и физико-механические свойства полученных материалов.

Последнее время в Украине в целом и Крыму в частности, наметился существенный подъем строительного производства. Все в большем объеме требуется мелкоштучный стеновой материал, который бы отвечал современным требованиям, предъявляемым к строительным материалам.

Кроме того возможность использования попутных продуктов производства камнедобывающих и химических предприятий Крыма для производства строительных материалов в значительной степени скажется на улучшении экологической обстановки в регионе.

Вопросы получения строительных материалов с использованием в качестве вяжущего силикат-глыбы достаточно глубоко изучены Тагурбиевым Б.Д. [1]. Однако, высокая стоимость силикат-глыбы приводит к повышению себестоимости изделий, что предопределяет поиск новых технологий для уменьшения расходов этого связующего при сохранении физико-механических характеристик материалов. Одним из перспективных технологических направлений в области производства строительных материалов является использование механохимической активации сырья, которая приводит к интенсификации процессов формирования структуры строительных материалов на основе вторичного сырья и позволяет улучшить качественные характеристики сырья и перевести некондиционное вторичное сырье в кондиционный продукт для производства строительных материалов [2]. Это происходит за счет механохимических эффектов, заключающихся в увеличении степени аморфизации материалов, их диссоциации, об-

разования сети микродефектов, обладающих повышенным запасом энергии.

В данной статье рассмотрен вопрос модифицирования известняковых попутных продуктов камнедобычи механоактивированным вяжущим на основе силикат-натриевой связки, известняка и пиритных огарков.

При высокоскоростном измельчении преобладающую роль в увеличении внутренней энергии материала играют мелкие частицы [3,4]. С учетом преобладающей роли малых частиц в увеличении внутренней энергии материала при мелкодисперсном измельчении, была разработана технология отдельной подготовки механоактивированного вяжущего и известнякового заполнителя, причем последний модифицировался вяжущим в процессе интенсивного перемешивания.

Как известно, аморфный кремнезем силикат-глыбы обладает высокой химической активностью по отношению к оксиду кальция, который образуется при высокоскоростном измельчении известняка [1,2]. Разработанная технология включает совместную механоактивацию силикат-глыбы с добавкой известняка в высокоскоростной мельнице. При этом количество известняка в вяжущем составляло 10% от общей его массы в изделиях. В исследовании были использованы: силикат-глыба ПО «Титан» (г. Армянск, Автономная Республика Крым) с кремнеземистым модулем 2,9. Для окрашивающего эффекта в вяжущее вводили пиритные огарки – попутный продукт производства серной кислоты ПО «Титан».

Основной объем попутных продуктов камнепиления измельчали традиционным способом в шаровой мельнице до получения частиц фракции 0-2 мм. После этого известняк смешивали с вяжущими в заданных соотношениях в лопастном смесителе, увлажняли до влажности 10% и прессовали образцы цилиндры диаметром 0,05 м и высотой 0,06 м при удельном давлении 25 МПа. Тепловую обработку из-

делий проводили по режиму: пропаривание при $90 \div 95^\circ\text{C}$ в течение 4 часов и последующая сушка при $180 \div 200^\circ\text{C}$ в течение 4 часов. Такой режим тепловой обработки обусловлен особенностями твердения материалов на основе силикат-натриевой связи [1]. На первом этапе необходимо было осуществить гидратацию гидросиликатов натрия путем пропаривания при $90 \div 95^\circ\text{C}$. При этом происходило взаимодействие компонентов смеси с образованием гидросиликатов кальция из-за появления оксида кальция в результате декарбонизации известняка при высокоскоростном диспергировании. При подъеме температуры до $180 \div 200^\circ\text{C}$ достигалось почти полное обезвоживание системы с получением водостойкого материала.

Параллельно с разработанной технологией были проведены сравнительные испытания технологии совместного измельчения компонентов в шаровой мельнице (по Тотурбиеву) и совместного измельчения компонентов в высокоскоростной мельнице РМУ-100В.

Физико-механические характеристики образцов приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Физико-механические характеристики
образцов на безводной силикат-натриевой
связке (БСНС)**

Обозначение состава смеси	Состав смеси, % (мас)				Средняя плотность, КГ/м ³	Предел прочности при сжатии, МПа	Водопоглощение, %	Коэффициент размягчения
	Механоактивированное вяжущее			Известняковый наполнитель				
	БСНС	известняк	Пиритные огарки					
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	5	10	-	85	1560	13,9	24,2	0,5
2	10	10	-	80	1550	22,9	19,3	0,6
3	20	10	-	70	1640	32,5	14,1	0,7
4	30	10	-	60	1670	32,6	14,0	0,7
5	10	10	5	775	1820	54,2	12,1	0,7
6	10	10	10	70	1870	58,6	12,8	0,8
7	10	10	20	60	1850	44,1	12,8	0,8
8	20	-	-	80	1660	14,3	15,4	0,6
9	30	-	-	70	1660	17,0	15,2	0,7
10	20	-	-	80	1700	28,7	15,5	0,5
11	30	-	-	70	1720	33,0	14,9	0,7

Результаты испытаний свидетельствуют о том, что по разработанной технологии (состав 5-7) оптимальный расход силикат-глыбы снизился с 30% до 10% при существенном росте прочности изделий по сравнению с измельчением материалов в шаровой мельнице (составы 8 и 9). Совместное измельчение сырьевой смеси в мельнице РМУ-100 приводит к увеличению расхода вяжущего с 20 до 30% (составы 10,11) из-за увеличения дисперсности известняка. Применение пиритных огарков привело не только к окрашивающему эффекту, но и значительно изменило характеристики составов. Прочность образцов с пиритными огарками возросла в 2-2,5 раза. Резкий рост прочности при вводе огарков в сырьевую смесь, по-видимому, связан с их активизацией и химическим взаимодействием с продуктами гидролиза силикат-глыбы.

Для объяснения полученных результатов физико-механических испытаний проведено электронно-микроскопическое исследование структуры образцов.

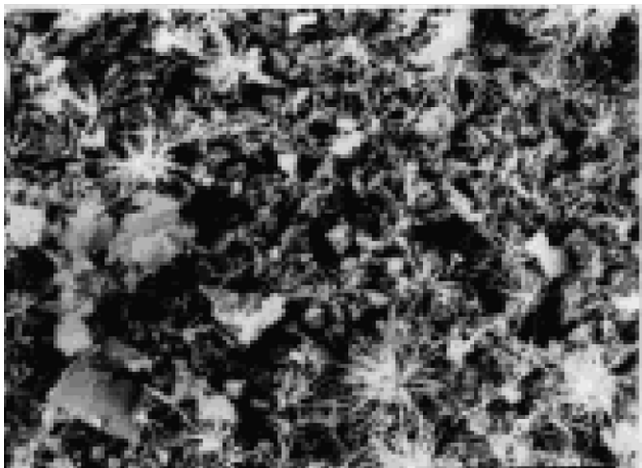
На рис. 1 изображена структура состава 1 (см. табл.1) - структура комковатая, пористая. Частицы известняка сцементированы в агрегаты изометрической формы. Между ними кристаллы игольчатой формы – новообразования от взаимодействия гидросиликатов натрия и оксида кальция. Структура состава 3 (рис. 2) отличается от структуры состава 1 значительно большим распространением игольчатых кристаллов. Кристаллы имеют спутано-волоконистую форму и как бы сшивают частицы известняка. Этим объясняется хорошая прочность образцов (32 МПа).



Рис. 1 Структура образца, содержащего 95% известняковых отходов и 5% БСНС (увеличение 1000х)

Примечание. Составы 8 и 9 получены совместным измельчением сырьевых компонентов в шаровой мельнице, а составы 10 и 11 – в высокоскоростной мельнице РМУ-100В.

а)



б)



Рис.2 Структура образца, содержащего 80% известковых отходов и 20% БСНС:

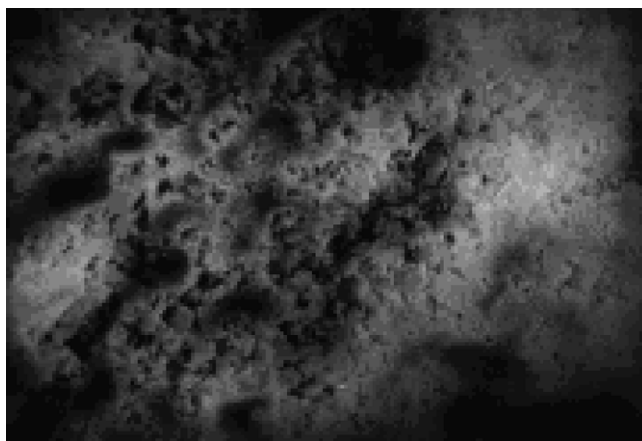
а – увеличение в 1000х, б – увеличение 5000х

Введение пиритных огарков привело к значительному росту прочности и плотности образцов (составы 5,6 и 7, см. табл. 1). В структуре этих составов (рис. 3) обнаружены кристаллические новообразования (вероятно сульфаты, гипс), сшивающие частицы и агрегаты известняка и безводной силикат-натриевой связки.

ВЫВОДЫ

Модифицирование известняковых попутных продуктов камнедобычи механоактивированным вяжущим на основе безводной силикат-натриевой связки, известняка и пиритных огарков позволило получить образцы стеновых материалов с прочностью до 58,6 МПа при снижении расхода силикат-глыбы до 10%, а также подтвердить возможность использования в технологиях процесса модифицирования веществ малыми частицами.

а)



б)



Рис.3 Структура образца, содержащего 80% известняковых отходов, 105 БСНС и 105 пиритных огарков:

а – увеличение 1000х, б – увеличение 5000х

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тотурбиев Б.Д. Строительные материалы на основе силикат-натриевых композиций.-М.:Стройиздат, 1988.-208с.
2. Федоркин С.И. Механоактивация вторичного сырья в производстве строительных материалов.-Симферополь:Таврия, 1997.-180с.
3. Ревнивцев В.И., Владимиров П.С., Доливо-Добровольский Г.И., Тихонов О.Н. Процессы самоорганизации в системах обломочных малых частиц//Неорганические материалы.-1990.-Том 26, №5 с.-1086-1091.
4. Федоркин С.И. Физико-технологические основы механоактивации вторичного сырья в производстве строительных материалов. Дис... докт. техн. наук: 05.23.055.-Макеевка, 1999.-389с.

Н.В. Любомирский, П.Г. Лавринев

Крымская академия природоохранного и курортного строительства

Оптимизация массы для расширяющей добавки на основе известняка-ракушечника и пиритных огарков

Методом математического планирования эксперимента с использованием композиционного ортогонального плана второго порядка определены оптимальные составы масс расширяющей добавки на основе известняка-ракушечника и пиритных огарков для производства расширяющегося цемента и разрушающего материала. Приведены результаты внедрения оптимальных составов масс расширяющей добавки в производство расширяющегося цемента и разрушающего материала.

расширяющая добавка, расширяющийся цемент, невзрывчатый разрушающий материал, пиритные огарки, уравнение регрессии

Одной из актуальнейших задач в технологии расширяющихся материалов – расширяющегося и напрягающего цементов, невзрывчатого разрушающего материала для безопасного разрушения хрупких материалов, а также различных герметизирующих составов для заделки стыков, щелей и трещин – является разработка составов эффективных расширителей. Определяющим компонентом этих материалов является структурированная негашеная известь, которая за счет увеличения объема твердой фазы при гашении вызывает значительное расширение твердеющих вяжущих систем [1].

Основными свойствами, влияющими на значение расширяющего усилия негашеной извести являются повышенная плотность (не менее $2,95 \text{ г/см}^3$) и содержание свободного оксида кальция (более 75 %) [2]. Установлено [3], что добавки (Fe_2O_3 , Al_2O_3 , CaSO_4 и др.) способствуют снижению температуры получения высокоплотной негашеной извести. Выявлено [4, 5], что основными факторами, влияющими на свойства свободной извести являются содержание легкоплавкой добавки, температура обжига и изотермическая выдержка.

Расширение области применения расширяющихся материалов вызывает необходимость разработки и оптимизации новых составов расширяющих добавок с использованием для их производства попутных продуктов химической промышленности. Имеющиеся научные и практические данные [3, 4, 5] о влиянии различных добавок на свойства оксида кальция и изменении технологических параметров процесса получения негашеной извести позволяют предположить о возможности вовлечения железосодержащих побочных продуктов химической про-

мышленности в производство расширяющихся материалов.

В связи с этим целью данной работы являлось определение оптимальных составов масс расширяющей добавки на основе карбонатного компонента и пиритных огарков (железосодержащего попутного продукта производства серной кислоты) для применения ее в составах расширяющегося цемента и невзрывчатого разрушающего материала.

В качестве карбонатного компонента взят желтый известняк-ракушечник Евпаторийского месторождения (содержание $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ по титру по HCl 85,2–98,4 %). Пиритные огарки являются многотоннажным продуктом, который образуется при производстве серной кислоты на ГАК «Титан» (г. Армянск) в результате обжига серного колчедана (содержание Fe_2O_3 до 76 %).

Для изучения одновременного влияния железосодержащей добавки, температуры обжига и времени изотермической выдержки на спекаемость карбонатных систем был опробован план полного факторного эксперимента 2^n [6]. В качестве основных параметров, влияющих на физико-технические свойства спеков расширяющихся композиций, были приняты:

- X_1 – содержание легкоплавкой добавки, % - мас.;
- X_2 – температура обжига сырьевой шихты, °C;
- X_3 – изотермическая выдержка, мин.

Задача формулировалась как трехфакторный эксперимент. Общее количество опытов составило $2^3 = 8$.

Условия планирования эксперимента представлены в табл. 1.

Таблица 1

Факторы		Уровни варьирования			Интервал варьирования
Натуральный вид	Кодированный вид	-1	0	1	
Содержание добавки, %	X_1	5	10	15	5
Температура обжига, °C	X_2	1200	1250	1300	50
Изотермическая выдержка, мин	X_3	30	45	60	15

Условия планирования эксперимента

В качестве параметров оптимизации принимали:

- Y_1 – давление расширения (P), МПа;
- Y_2 – плотность спеков (ρ), кг/м³;
- Y_3 – содержание свободного оксида кальция ($\text{CaO}_{\text{своб.}}$) в спеках, %.

Эксперимент повторяли трижды, а значение параметра оптимизации определяли как среднее арифметическое.

Сырьевые смеси готовили по сухому способу путем смешивания известняка-ракушечника с добавкой пиритных огарков, измельченных до удельной поверхности 1200–1250 см²/г. Затем сырьевые смеси обжигали в электрической печи.

При проведении ПФЭ 2³ полученные уравнения регрессии не могли быть признаны адекватными (по критерию Фишера). Поэтому был применен композиционный ортогональный план второго порядка [7], т.е. к плану ПФЭ 2³ добавили еще шесть специальным образом расположенных «звездных» точек и опыт в центре эксперимента. Уравнение регрессии для изучаемых свойств следующее:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i X_i + \sum_{i,j=1}^n b_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} X_i'^2, \quad (1)$$

где $X_i' = X_i^2 - 0,73$.

Матрицы планирования и экспериментальные результаты для спеков с добавкой пиритных огарков и гипса представлены в табл. 2.

Коэффициенты уравнений регрессии b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} вычисляли по формулам:

$$\begin{aligned} b_0 &= \frac{\sum_{u=1}^N Y_u}{N} = a_0 \sum_{u=1}^N Y_u; \\ b_i &= \frac{\sum_{u=1}^N X_{iu} Y_u}{\sum_{u=1}^N X_{iu}^2} = a_1 \sum_{u=1}^N X_{iu} Y_u; \\ b_{ij} &= \frac{\sum_{u=1}^N X_{iu} X_{ju} Y_u}{\sum_{u=1}^N (X_{iu} X_{ju})^2} = a_2 \sum_{u=1}^N X_{iu} X_{ju} Y_u; \\ b_{ii} &= \frac{\sum_{u=1}^N X_{iu}' Y_u}{\sum_{u=1}^N (X_{iu}')^2} = a_3 \sum_{u=1}^N X_{iu}' Y_u. \end{aligned} \quad (2)$$

где a_0, a_1, a_2, a_3 – коэффициенты, облегчающие расчет оценок эффектов анализируемых факторов,

$a_0 = 0,0667; a_1 = 0,0913; a_2 = 0,1250; a_3 = 0,2298$.

Полученные уравнения регрессии имеют вид:

$$\begin{aligned} \bar{Y}_1 &= 41,93 - 4,31(X_1^2 - 0,73) - \\ &- 4,45(X_2^2 - 0,73) + 1,66(X_3^2 - 0,73) + \\ &+ 5,07X_1 + 12,67X_2 + 1,88X_3 - 0,56X_1X_2 + \\ &+ 0,063X_1X_3 + 0,86X_2X_3; \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \bar{Y}_2 &= 2,913 - 0,023(X_1^2 - 0,73) - \\ &- 0,023(X_2^2 - 0,73) + 0,011(X_3^2 - 0,73) + \\ &+ 0,041X_1 + X_2 + 0,059X_3 - 0,005X_1X_2 + \\ &+ 0,005X_1X_3 + 0,003X_2X_3; \end{aligned} \quad (4)$$

Матрица планирования и экспериментальные данные

											Средние экспериментальные данные		
u	X_1	X_2	X_3	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	X'_1	X'_2	X'_3	X_3	$P, Y_1, \text{МПа}$	$p, Y_2, \text{кг/м}^3$	$\text{CaO}_{\text{своб.}}, Y_3, \%$
1							0,27	0,27	0,27	1	22,4	2820	85,7
2							0,27	0,27	0,27	1	46,4	2900	82,8
3							0,27	0,27	0,27	1	29,6	2880	80,8
4							0,27	0,27	0,27	1	50,6	2980	74,6
5							0,27	0,27	0,27	1	26,6	2830	84,6
6							0,27	0,27	0,27	1	53,3	2910	82,0
7							0,27	0,27	0,27	1	33,3	2900	84,2
8							0,27	0,27	0,27	1	58,5	3000	72,6
9	-1,22	0	0	0	0	0	0,75	-0,7	-0,7	1	36,2	2840	85,0
10	1,215	0	0	0	0	0	0,75	-0,7	-0,7	1	44,7	2960	80,4
11	0	-1,22	0	0	0	0	-0,7	0,75	-0,7	1	23,0	2780	83,2
12	0	1,215	0	0	0	0	-0,7	0,75	-0,7	1	57,5	3020	73,0
13	0	0	-1,22	0	0	0	-0,7	-0,7	0,75	1	46,0	2940	83,1
14	0	0	1,215	0	0	0	-0,7	-0,7	0,75	1	52,5	2960	83,0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	48,0	2950	83,7

$$\begin{aligned}
 \bar{Y}_3 = & 78,75 - 1,28(X_1^2 - 0,73) - \\
 & - 0,63(X_2^2 - 0,73) - 2,02(X_3^2 - 0,73) + \\
 & + 3,38X_1 + 1,27X_2 - 0,58X_3 - 0,08X_1X_2 - \\
 & - 0,05X_1X_3 - 0,23X_2X_3.
 \end{aligned} \quad (5)$$

Для оценки значимости коэффициентов регрессии была определена дисперсия их воспроизводимости по следующей формуле:

$$S^2_{(Y)} = \frac{\sum_{u=1}^N \sum_{k=1}^m (Y_{uk} - \bar{Y}_u)^2}{N(m-1)}, \quad (6)$$

где m – количество повторностей опыта, $m = 3$.

$$\begin{aligned}
 S^2_{(\bar{Y}_1)} &= 0,6267; \\
 S^2_{(\bar{Y}_2)} &= 3,067 \cdot 10^{-4}; \\
 S^2_{(\bar{Y}_3)} &= 0,8627.
 \end{aligned}$$

Дисперсии оценок эффектов определяли по формулам:

$$\begin{aligned}
 S^2_{(b_0)} &= a_0 S^2_{(\bar{Y})}, \\
 S^2_{(b_1)} &= a_1 S^2_{(\bar{Y})}, \\
 S^2_{(b_{ij})} &= a_2 S^2_{(\bar{Y})}, \\
 S^2_{(b_{iii})} &= a_3 S^2_{(\bar{Y})}.
 \end{aligned} \quad (7)$$

Доверительный интервал определяли по формулам:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{(b_o)} &= t \sqrt{S_{(b_o)}^2}; \\ \varepsilon_{(b_i)} &= t \sqrt{S_{(b_i)}^2}; \\ \varepsilon_{(b_{ij})} &= t \sqrt{S_{(b_{ij})}^2}; \\ \varepsilon_{(b_{ii})} &= t \sqrt{S_{(b_{ii})}^2}.\end{aligned}\quad (8)$$

где t – критерий Стьюдента; при 5 %-ном уровне значимости для $f = N(m-1) = 15(3-1) = 30$ степеней свободы $t_{(0,95; f=30)} = 2,04$ [5].

Для уравнения

$$\begin{aligned}\bar{Y}_1 (3) \varepsilon_{(b_o)} &= 0,417, \\ \varepsilon_{(b_i)} &= 0,488, \\ \varepsilon_{(b_{ij})} &= 0,571, \\ \varepsilon_{(b_{ii})} &= 0,759;\end{aligned}$$

Для уравнения

$$\begin{aligned}\bar{Y}_2 (4) \varepsilon_{(b_o)} &= 0,009, \\ \varepsilon_{(b_i)} &= 0,011, \\ \varepsilon_{(b_{ij})} &= 0,0126, \\ \varepsilon_{(b_{ii})} &= 0,0168;\end{aligned}$$

для уравнения

$$\begin{aligned}\bar{Y}_3 (5) \varepsilon_{(b_o)} &= 0,489, \\ \varepsilon_{(b_i)} &= 0,573, \\ \varepsilon_{(b_{ij})} &= 0,6698, \\ \varepsilon_{(b_{ii})} &= 0,8904.\end{aligned}$$

Таким образом, после подведения подобных членов и с учетом значимости коэффициентов уравнения регрессии принимают вид

$$\begin{aligned}\bar{Y}_1 &= 47,11 - 4,31X_1^2 - 4,45X_2^2 + \\ &+ 1,66X_3^2 + 3,07X_1 + 12,67X_2 + \\ &+ 1,88X_3 + 0,86X_1X_2;\end{aligned}\quad (9)$$

$$\begin{aligned}\bar{Y}_2 &= 2,939 - 0,023X_1^2 - 0,023X_2^2 + \\ &+ 0,011X_3^2 + 0,041X_1 + 0,059X_2;\end{aligned}\quad (10)$$

$$\begin{aligned}\bar{Y}_3 &= 82,17 - 2,91X_1^2 - 0,94X_2^2 + \\ &+ 0,72X_3^2 - 5,10X_1 - 1,29X_2 - 0,78X_3.\end{aligned}\quad (11)$$

Для проверки адекватности уравнений регрессии рассчитывали дисперсию адекватности по формуле:

$$S_{ад(Y_i)}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_{ui} - \bar{Y}_i)^2}{N(m-1) - N'}, \quad (12)$$

где N' – число значимых коэффициентов в уравнении регрессии.

Для уравнения

$$\bar{Y}_1 (9) S_{ад(Y_1)}^2 = 1,07 ;$$

для уравнения

$$\bar{Y}_2 (10) S_{ад(Y_2)}^2 = 3,16 \cdot 10^{-4} ;$$

для уравнения

$$\bar{Y}_3 (11) S_{ад(Y_3)}^2 = 0,407.$$

Расчетное значение критерия Фишера F_p определяли по формуле:

$$F_{p(Y_i)} = \frac{S_{ад(Y_i)}^2}{S_{(Y_i)}^2}. \quad (13)$$

Для уравнения

$$\bar{Y}_1 (9) F_{p(Y_1)} = 1,71 ;$$

для уравнения

$$\bar{Y}_2 (10) F_{p(Y_2)} = 1,03 ;$$

для уравнения

$$\bar{Y}_3 (11) F_{p(Y_3)} = 2,12 .$$

Табличное значение критерия Фишера F_T [5] находили для каждого Y при доверительной вероятности 95 % ($\alpha = 0,05$):

для

$$Y_1 \left(\begin{array}{l} \text{при } f = 15(3-1) = 30; \\ f_{ад} = 15 - 8 = 7 \end{array} \right) \\ F_{T(Y_1)} = 2,39 > F_{P(Y_1)} = 1,71 ;$$

для

$$Y_2 \left(\begin{array}{l} \text{при } f = 15(3-1) = 30; \\ f_{ад} = 15 - 6 = 9 \end{array} \right) \\ F_{T(Y_2)} = 2,39 > F_{P(Y_2)} = 1,03 ;$$

для

$$Y_3 \left(\begin{array}{l} \text{при } f = 15(3-1) = 30; \\ f_{ад} = 15 - 7 = 8 \end{array} \right) \\ F_{T(Y_3)} = 2,32 > F_{P(Y_3)} = 2,12 .$$

Таким образом, гипотеза об адекватности модели уравнений (9), (10) и (11) не отвергается. Из уравнения (9) следует, что на значение расширяющего усилия спека известняка-ракушечника с пиритными огарками наиболее значительное влияние оказывает температура обжига (X_2) и количество добавки (X_1): с ростом (X_1) и (X_2) давление расширения повышается.

Плотность спеков известняка-ракушечника с железосодержащим попутным продуктом производства серной кислоты, как видно из уравнения (10), существенно зависит от содержания в составе масс пиритных огарков и температуры обжига: с ростом (X_1) и (X_2) плотность увеличивается.

Основными факторами, влияющими на содержание свободного оксида кальция, являются также (X_1) и (X_2). Причем, с ростом (X_2) и увеличением (X_1) содержание свободного оксида кальция уменьшается.

Время изотермической выдержки при максимальной температуре обжига (X_3) существенного влияния на все параметры оптимизации не оказывает, а на изменение плотности и вовсе не влияет.

Поиск оптимальной области значений факторов определяли графическим способом. Линии одинаковых уравнений расширяющего усилия, плотности и содержания свободного оксида кальция при фиксированном времени изотермической выдержки 45 мин ($X_3 = 0$) показаны на рис. 1. Заштрихованная область составов, обеспечивающих после обжига усилие расширения – не менее 50 МПа, плотность – более 2,95 г/см³ и содержание свободного оксида кальция – больше 75 % ограничена содержанием добавки пиритных огарков в смеси желтого известняка-ракушечника 8,8–14,0 % мас. и температурой обжига 1250–1280 °С.

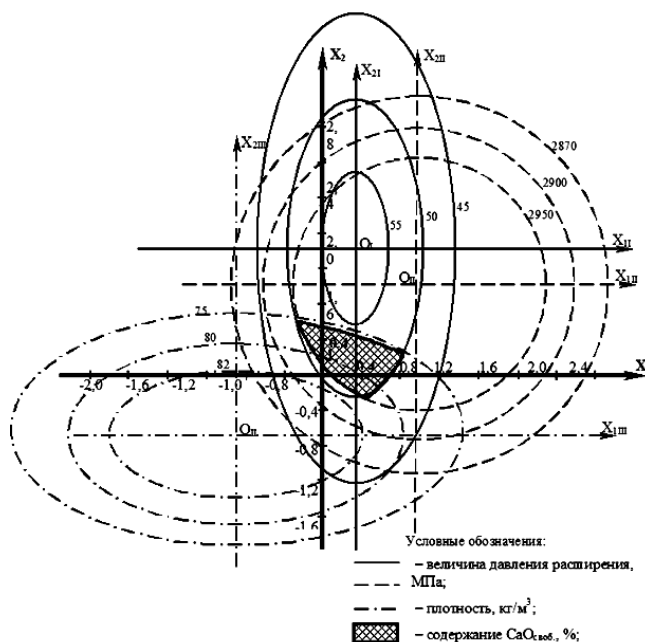


Рис. 1. Зависимость расширяющего усилия, плотности и содержания СаО_{своб.} в спеках известняка-ракушечника с добавками пиритных огарков от количества добавки и температуры обжига при изотермической выдержке 45 мин.

В табл. 3 представлены оптимальные составы сырьевых смесей известняка-ракушечника и пиритных огарков и физико-технические свойства спеков расширяющей добавки, полученными при оптимальных температурах обжига.

Таблица 3

**Свойства спеков известково-железистых
композиций оптимальных составов**

Индекс массы	Состав сырьевой смеси, % мас.		Температура обжига, °C	Содержание СаОсвоб., %	Плотность, г/см ³	Расширяющее усилие, МПа
	известняк-ракушечник	пиритные огарки				
1	87.5	12.5	1250	82.2	3	52.0
2	86.0	14.0	1280	74.2	3	51.5

Массы 1 и 2 были опробованы на Симферопольском МСП «Стройкомплект». На базе портландцемента Бахчисарайского цементного завода с использованием известково-железистого спека (масса 2) был получен расширяющийся цемент. На основе массы 1 и комплексной добавки ПАВ получили невзрывчатый разрушающийся материал.

Исследования физико-механических свойств портландцемента с расширяющей добавкой – известково-железистого спека в возрасте 28 суток показали следующие результаты:

- линейное удлинение – 0,44 %;
- предел прочности на растяжение при изгибе – 12,2 МПа;
- предел прочности на сжатие – 52,0 МПа.

Невзрывчатый разрушающийся материал на основе известково-железистой композиции в течение 5,5 ч развивает давление расширения не менее 40 МПа, что достаточно для разрушения особо твердых каменных материалов.

ВЫВОДЫ

1. В системе «известняк-ракушечник – пиритные огарки» с использованием метода математического планирования эксперимента установлены оптимальные концентрационные соотношения добавки пиритных огарков (8,6 – 14,0 % мас.) и температура обжига (1240 – 1280 °C), обеспечивающие следующие свойства расширяющей добавки: усилие расширения – более 50 МПа; плотность – не менее 2,95 г/см³; содержание свободного оксида кальция – больше 75 %.
2. Оптимальные составы карбонатно-железистых композиций в качестве расширяющей добавки внедрены на Симферопольском МСП «Стройкомплект» для производства расширяющегося цемента и разрушающего материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николаев М.М., Балдин В.П. Эффективные материалы и изделия на основе извести // Строительные материалы. – 1996. – № 8. – С. 7 – 8.
2. Захаров Н.М. Разрушающий материал на основе высокоплотной негашеной извести // Строительные материалы. – 1995. – № 10. – С. 10 – 11.
3. Волженский А.В., Буров Ю.С., Колокольников В.С. Минеральные вяжущие вещества. – М.: Стройиздат, 1986. – 464 с.
4. Пащенко А.А., Старчевская Е.А., Алексенко А.Е. Напрягающий портландцемент. – Киев: Будівельник, 1981. – 60 с.
5. Ульянов В.А. Об изотермической выдержке при производстве модифицированной технологической извести // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1991. – № 4. – С. 59 – 62.
6. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
7. Грачев Ю.П. Математические методы планирования эксперимента. – М.: Пищевая промышленность, 1979. – 200 с.

Раздел 4. Технология промышленного и гражданского строительства

УДК 621.867.89.2

А.А. Ковалев, А.Д. Морозов

Крымская академия природоохранного и курортного строительства.

Исследование энергетических характеристик пневмомеханической установки для сыпучих материалов

Рассмотрена взаимосвязь энергетических составляющих математической модели процесса взаимодействия бесконсольного шнека пневмомеханической установки с сыпучим материалом.

бесконсольный шнек, пневмомеханическая установка, производительность, мощность, энергоёмкость

Создание высокопроизводительных, ресурсосберегающих и малоопасных для природы и человека машин – это одно из перспективных направлений развития дорожной и строительной техники.

Последними обстоятельствами и вызвано широкое применение пневмомеханических установок (рис. 1) с шнековым рабочим органом для дозирования и смешивания сыпучих материалов в полевых условиях узлов по производству асфальтобетонных смесей и минерального порошка.

Процесс взаимодействия сыпучего материала со шнеком пневмомеханической установки имеет ряд специфических особенностей (противодавления сжатого воздуха, необходимость в пылевой пробке, зависимость от физико-механических характеристик сыпучего материала, от параметров микроклимата, большая частота вращения шнека и пр.), что объясняет разнообразие подходов к его описанию.

Представляет интерес, предложенный в работах [1,2,4] метод аналогии между потоком сыпучего материала (по структуре похожего на песок) и течением несжимаемой вязкой ньютоновской жидкости в канале шнека, а также соотношения для производительности Q и мощности N винтовой установки.

$$Q = \left(\frac{V_z W H}{2} \right) F_D \left(\frac{W H^3}{12 \mu} \right) \times \left(\frac{\partial P}{\partial z} \right) F_P$$

$$N = \xi (n / 60) 2 \mu \omega + \alpha (n / 60) P_K$$

где:

$$F_D = \left(\frac{16W}{\pi^3 H} \right) \sum_{K=1,3,\dots}^{\infty} th \left(\frac{K\pi H}{2W} \right) / K^3$$

$$F_P = 1 - \left(\frac{192H}{\pi^3 H} \right) \sum_{K=1,3,\dots}^{\infty} 1 / K^5 th \left(\frac{K\pi W}{2H} \right)$$

$$\xi = \left[\pi^3 D_{III}^3 \sin \beta (1 + 3 \sin^2 \beta) / H \right]$$

$$\alpha = \left(\pi^2 D_{III}^2 H \sin \beta \cos \beta / 2 \right) - \text{функции.}$$

V_z - скорость жидкости вдоль оси винтового канала;

μ - динамическая вязкость, нс/м²;

n - число оборотов шнека, об/мин,

W, H - длина и ширина канала шнека, м;

В работе [1] неполно учтено распределение скорости

V_z по высоте витка шнека и выражение для $\frac{\partial P}{\partial z}$ не

получено, а проведен только анализ влияния

$\frac{\partial P}{\partial z}$ на эпюру осевых скоростей.

При формировании математической модели сделаны допущения:

а) использовали уравнение течения несжимаемой ньютоновской жидкости в установившемся режиме

$$\left(\frac{\partial v}{\partial z} = 0 \right);$$

б) материал уплотнен и его дальнейшее уплотнение не

$$\text{происходит} \left(\frac{\partial p}{\partial \tau} = 0 \right);$$

в) вязкость материала постоянна по всей длине шнека;

г) инерционные составляющие не учитывали;

д) потоком утечки пренебрегали;

е) давление по длине шнека нарастает линейно.

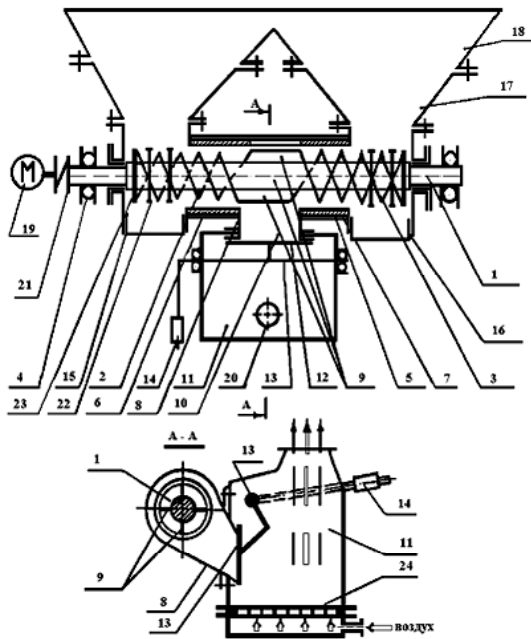


Рис.1. Схема пневмомеханической установки с бесконсольным шнеком [5]

1 - вал; 2,3 - шнеки; 4 - опора; 5 - цилиндрический корпус; 6,7 - гильзы; 8 - боковой отвод; 9 - планка; 10 - разгрузочное окно; 11 - смесительная камера; 12 - клапан; 13 - ось; 14 - противовес; 15,16 - приемные камеры; 17 - патрубок; 18 - накопитель; 19 - электродвигатель; 20 - транспортный трубопровод; 21 - муфта; 22 - отражательное кольцо; 23 - диск; 24 - аэроднище.

На базе формулы Боровского Б.И. [3] для изменения осевой составляющей скорости жидкости по радиусу шнека

$$C_{zш} = q_э \omega S_э (1 + k) / 2\pi \text{ и}$$

зависимости давления сжатого воздуха $\partial P / \partial Z = P_k / l_{ш}$ вдоль канала шнека уточнено соотношение производительности установки для сыпучего материала:

$$Q = \frac{\omega D_{ш}^3 \bar{S}_э^2 q_э (1 + \kappa) (1 - \bar{d}_э) \cos \beta_{cp}}{8\pi l_{ш}} \times \times F_D - \frac{P_k D_{ш}^5 \bar{S}_э (1 - \bar{d}_э)^3 \cos \beta_{cp}}{96\mu_{ш} l_{ш}} F_P, \quad (1)$$

где $D_{ш}$ — наружный диаметр шнека, м;

$d_э$ - диаметр вала шнека, м;

$\bar{d}_э = d_э / D_{ш}$ - относительный диаметр вала шнека;

$\bar{S}_э = S_э / D_{ш}$ - относительный эквивалентный шаг шнека;

$\bar{l}_{ш} = l_{ш} / D_{ш}$ - относительная длина шнека;

$i_{ш}$ - число заходов шнека;

P_K - избыточное давление в смесительной аэрокамере, МПа;

$l_{ш}$ - длина шнека, м;

$q_э = 2\pi C_{зср} / S_э$ - эквивалентный расходный параметр;

$C_{зср}$ - осевая составляющая скорости жидкости на среднем диаметре;

$\gamma_{ш} = (1 + \tan^2 \beta_{cp}) / (1 + \tan \beta_{cp})$ - угол наклона витков шнека на среднем диаметре;

$k = (1 - q_э) \times (\gamma_{ш} - 1) / (q_э \tan^2 \beta_{cp})$ - коэффициент, связанный с $q_э$ и $\gamma_{ш}$;

μ - динамическая вязкость (аналог коэффициента внутреннего трения сыпучего материала), нс/м².

Для установки с постоянным шагом витков бесконсольного шнека зависимости мощности и производительности от числа витков Z имеют вид:

$$Q = \frac{\pi^2 D_{ш}^3 ((1 - \bar{d}_э) \sin \beta \cos \beta) n F_D}{240} - \frac{D_{ш}^3 ((1 - \bar{d}_э)^3 \sin \beta \cos \beta) P_K F_P}{96 Z \mu}, \quad (2)$$

$$N = \frac{\pi^4 Z D_{ш}^3 (1 + 4 \tan^2 \beta) \mu n^2}{1800 (1 - \bar{d}_э)} + \frac{3 \pi^2 (1 - \bar{d}_э) D_{ш}^3 n P_K}{48} \quad (3)$$

Найдем выражение для динамической вязкости из формулы (3).

$$\mu = N - \frac{15 H \pi^2 (1 - \bar{d}_э)^2 D_{ш}^3 \sin \beta \cos \beta n P_K}{\pi^3 l D_{ш}^3 (1 + 3 \sin^2 \beta) \mu n^2} \quad (4)$$

Подставим выражение (4) в формулу (2) и получим:

$$Q = \left[N - \left(\frac{\pi^2 (1 - \bar{d}_e) D_{III}^3 \sin \beta \cos \beta n P_K}{240} \right) \times \right. \\ \left. \times \left(\frac{(1 - \bar{d}_e) F_D l_{III} (1 + 3 \sin^2 \beta) n}{6 \pi F_p ZH} \right) \right] \times \\ \times \frac{\left(\pi^2 (1 - \bar{d}_e)^2 D_{III}^3 \sin \beta \cos \beta n \right)}{240 (N - (\pi^2 / 240) (1 - \bar{d}_e) D_{III}^3 \sin \beta \cos \beta n)}.$$

Выполним преобразования.

$$Q = \frac{\pi^2 (1 - \bar{d}_e) D_{III}^3 \sin \beta \cos \beta n (N - N_o)}{240 (N - N_-)} = \\ = Q_{\max} \times (N - N_- (1 + h) / N - N_-),$$

где: $N_- = (\pi^2 (1 - \bar{d}_e) D_{III}^3 \sin \beta \cos \beta n P_K) / 240$ - мощность, затрачиваемая на срез материала в зазоре между гребнем витка и цилиндрическим корпусом;

N_o - мощность затрачиваемая на преодоление сопротивления обратного потока;

$h = (1 + 4tg^2 \beta) F_p / 3 F_D$ - безразмерная величина, связанная с геометрическими параметрами шнека.

Запишем:

$$N_- = Q_{\max} P_K / F_D$$

Тогда:

$$Q = 1 - \frac{h Q_{\max} P_K / F_D}{N - Q_{\max} P_K / F_D}$$

Зависимость производительности Q от мощности N получена в виде:

$$Q = \frac{Q_{\max} (N - N_o)}{N - N_-},$$

где

$Q_{\max}$ - максимальная объемная производительность шнека, м³/с.

$$Q_{\max} = \frac{\pi^2 D_{III}^3 (1 - \bar{d}_e) \sin \beta \cos \beta n}{240}$$

Область определения функции Q(N): $N > N_o$. Прямая $N = N_-$ есть вертикальная асимптота.

Уравнение горизонтальной асимптоты $Q = Q_{\max}$.

Для анализа Q(N) запишем выражение:

$$Q = Q_{\max} \frac{(N - N_- (1 + h))}{N - N_-}$$

Производная:

$$Q'(N) = Q_{\max} (+h) \left[N / (Q_{\max} / P_K / F_D)^2 \right] \times \\ \times \left[1 / (Q_{\max} / P_K / F_D) \right] = \\ = h / \left[\left[N / (Q_{\max} (P_K / F_D)) - 1 \right]^2 (P_K / F_D) \right] > 0.$$

Производительность растет при увеличении мощности, экстремумов нет.

Вторая производная.

$$Q''(N) = -2h / (P_K / F_D)^2 Q_{\max} \left\{ \left[N / (Q_{\max} (P_K / F_D)) - 1 \right] \right\}^3.$$

Значит, функция Q(N) выгнута вверх ($Q''(N) < 0$)

при $N > N_-$ и выгнута вниз при $N < N_-$ ($Q''(N) > 0$).

Физический смысл имеет часть графика при $N > N_o$, для которых $Q(N) > 0$, причем Q(N) монотонно возрастает по N, выходя на режим «насыщения» при

$N \rightarrow \infty$ ($\lim_{N \rightarrow \infty} Q(N) = Q_{\max}$), то есть при дальнейшем возрастании мощности повышения производительности не наблюдается.

На рис.2 приведена зависимость $N = f(Q)$.

N, кВт

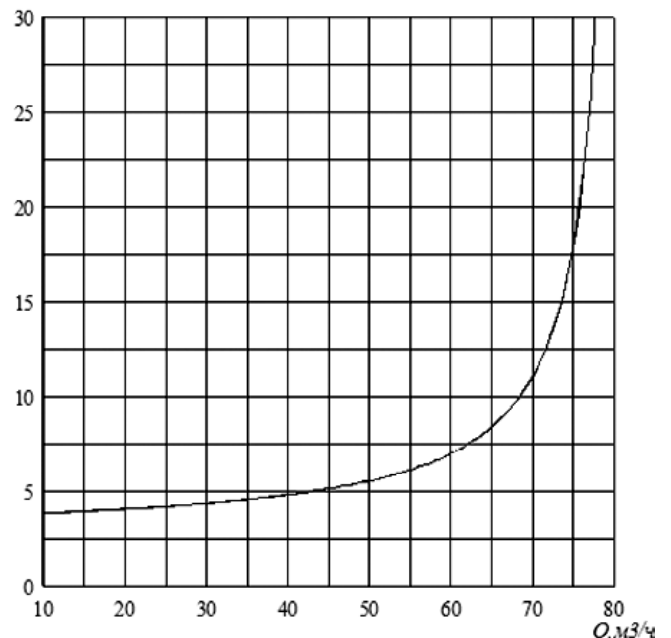


Рис.2. Зависимость мощности N от производительности Q

Энергоемкость рассматриваем как отношение мощности к производительности.

$$E = f(N) = N/Q = N(N - N_-) / [Q_{\max}(N - N_o)] = N(N - 2,482) / [81,216 / (N - 3,664)]$$

Исследуем функцию $E(N)$ на экстремум.

$$E'(N) = (N^2 - 2NN_o - N_-N_o) / [Q_{\max}(N - N_o)^2]$$

Функция $E(N)$ выгнута вниз и имеет минимум.

$$E'(N) = 0$$

При

$$N^2 - 2NN_o - N_-N_o = 0,$$

$$N_{1,2} = N_o \pm (N_o^2 - N_-N_o)^{1/2}$$

$$N_{1,2} = 3,644 \pm (3,644^2 - 9,095)^{1/2} = \{1,582; 5,746\}.$$

$N_2 = 5,746$ – точка минимума.

$E(N_2) = 0,11093$ кВтч/м³.

Производная функции $E(N)$ меняет знак с “-” на “+” при переходе через корень $N = N_2$, следовательно, имеем точку минимума.

Зависимость энергоемкости E от мощности N приведена на рис.3.

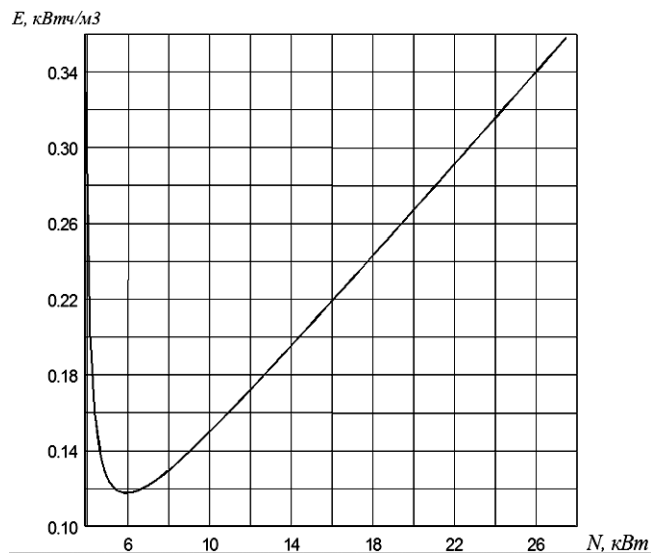


Рис.3. Зависимость энергоемкости E от мощности N

ВЫВОДЫ

С помощью соотношений для изменения осевой составляющей скорости движения жидкости по радиусу шнека из работы [3] и зависимости об изменения избыточного давления сжатого воздуха вдоль канала шнека. Уточнена математическая модель течения вязкой жидкости в канале шнека, предложенная в работах [1, 2];

Установлены гиперболические зависимости объемной производительности и энергоемкости рабочего процесса пневмомеханической установки с бесконсольным шнеком от мощности привода;

Объемная производительность машины пропорциональна частоте вращения шнека и кубу его диаметра при фиксированном относительном шаге витков шнека;

Повышению мощности установки способствует увеличение диаметра шнека, частоты оборотов, повышение давления в смесительной аэрокамере.

Уменьшению энергоемкости способствует увеличение межвиткового объема шнека, уменьшение диаметра вала шнека на заборном участке шнека и увеличения шага напорных витков;

Для рассмотренного типа установки при увеличении мощности $N > 27,5$ кВт существенного прироста производительности не наблюдается. Наличие режима «насыщения» при работе машины доказывается гиперболической зависимостью мощности от производительности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мак-Келви Д.М. Переработка полимеров: Пер. с англ. - М.: Химия, 1965. - 444 с.
2. Бернхардт Э. Переработка термопластических материалов: Пер. с англ. - М.: Госхимиздат, 1961. - 747 с.
3. Боровский Б.И. Энергетические параметры и характеристики высокооборотных лопастных насосов. - М.: Машиностроение, 1989. - 184 с.
4. Рябинин Д.Д., Лукач Ю.Е. Червячные машины для переработки пластических масс и резиновых смесей. М.: Машиностроение, 1972. - 272с.
5. А.с.1456350, МКИ4 В65 G53/48. Пневматический питатель / Морозов А.Д., Бондарев А.Т., Шапунов М.М., Ковалев А.А. - № 4168115/31-11; Заявлено 24.12.86; Опубл. 07.02.89, Бюл. №5.

А.Н. Куксин

Крымская академия природоохранного и курортного строительства

Повышение эффективности пневмотранспортных установок

Анализируются конструкции пневмовинтовых установок (ПВУ) и причины невысокой эффективности ПВУ. Предлагаются методы повышения эффективности ПВУ и выводятся формулы расчёта приведённых удельных энергозатрат, как основного показателя эффективности ПВУ

пневмовинтовая установка (ПВУ), эффективность, приведённые удельные энергозатраты, шнеконапорный механизм, аэрокамера

В условиях постоянно развивающейся мировой экономики и научно-технического прогресса, бесспорно, следует обратить внимание на развитие инфраструктуры производства, частью которой является транспорт вообще и пневмотранспорт в частности. Такие достоинства пневмотранспорта, как экологичность, чистота производства, соблюдение санитарно-гигиенических норм для обслуживающего персонала, простота эксплуатации, возможность автоматизации процесса, защищённость транспортируемого материала от атмосферных воздействий и атмосферы от распыления материала, делают его крайне актуальным в настоящий момент. В то-же время пневмотранспорт имеет ряд существенных недостатков, которые ограничивают его внедрение и распространение в некоторых отраслях индустрии и сельского хозяйства. Это в первую очередь высокая удельная энергоёмкость процесса, значительный расход воздуха и сравнительно малый ресурс рабочих органов. Многие из вышеперечисленных недостатков заключаются в низкой концентрации транспортируемого материала в материало-воздушной смеси, а также в определённых трудностях выбора оптимального режима эксплуатации пневмовинтовых установок. Это характерно как для пневмоподъёмников, работающих при начальном давлении в смесительной камере до 0,12 МПа и подающих груз на расстояние до 40 м и на высоту до 35 м, так и для пневмонасосов, с начальным давлением до 0,7 МПа и расстоянием подачи грузов до 400 м.

Анализ современных разработок показал наличие существенных результатов в поисках улучшения технических характеристик отдельных узлов и агрегатов установок. Кроме того, следует отметить устойчивую тенденцию в на-

правлении развития конструкций бесконсольных шнеков, т.е. имеющих подшипниковые опоры по концам шнека, т. к. шнеки с консольным креплением в значительно большей степени подвержены биению, вибрации, заклиниванию и соответственно износу и поломкам, что, безусловно ухудшает технические характеристики и снижает эффективность ПВУ. Несколько примеров конструктивных решений шнеконапорных механизмов ПВУ с бесконсольными шнеками:

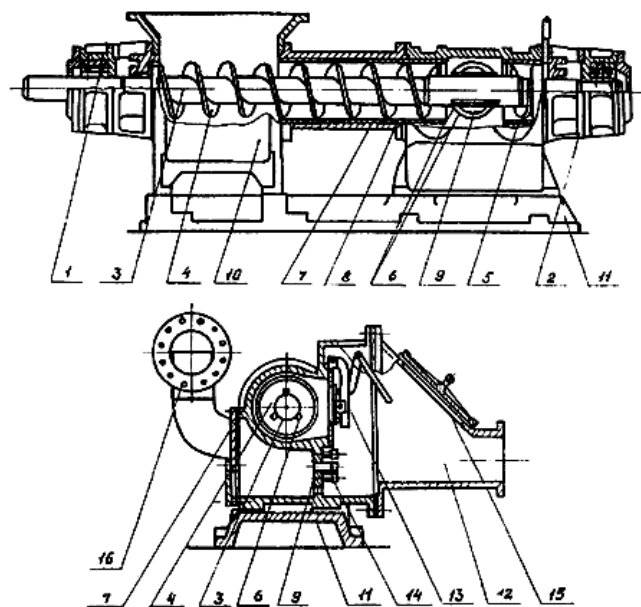


Рис. 1.1. ПВУ типа «М» фирмы «Фуллер» (Fuller)

1, 2 – подшипниковые опоры; 3 – вал; 4 – шнек; 5 – отбойные витки; 6 – планки; 7 – корпус; 8 – гильза; 9 – окно; 10, 12 – приёмная и смесительная камеры; 11 – станина; 13 – клапан; 14 – форсунка; 15 – люк; 16 – воздухопровод.

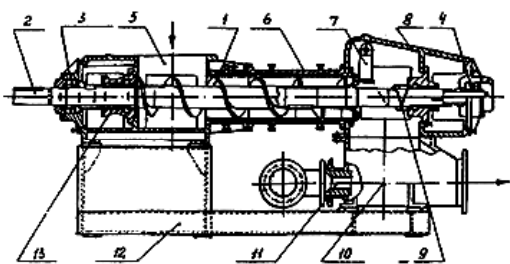


Рис. 1.2. ПВУ фирмы «Петерс» (Peters)

1 – шнек; 2 – вал; 3, 4 – блок подшипников; 5 – приёмная камера; 6 – корпус; 7 – подвеска клапана; 8, 10 – верхняя и нижняя части смесительной камеры; 9 – отбойный шнек; 11 – форсунка; 12 – станина; 13 – уплотнение вала.

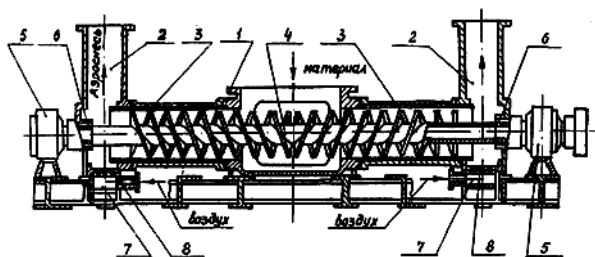


Рис. 1.3. Схема ПВУ с бесконсольным шнеком по а.с. 439450 СССР, МКИ В65 G 53/48

1, 2 – приёмная и смесительная камеры; 3 – корпус; 4 – шнек; 5 – опоры; 6 – лабиринтное уплотнение; 7 – воздушная камера; 8 – сопла.

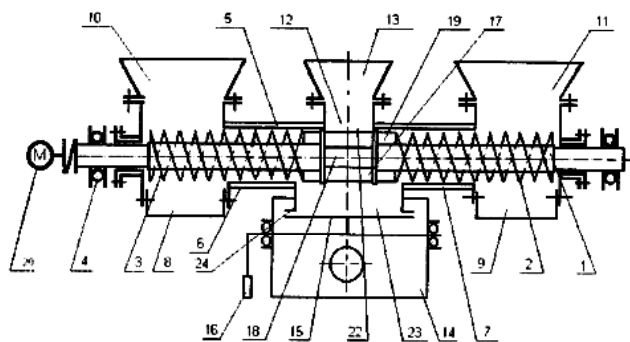


Рис. 1.4. Схема ПВУ для трехкомпонентной смеси по а.с. 1733353 СССР, МКИ В65 G 53/48

1 – вал шнеков; 2, 3 – шнеки; 4 – опора; 5 – корпус; 6, 7 – гильзы; 8, 9, 12 – приёмные камеры; 10, 11, 13 – бункеры; 14 – смесительная камера; 15 – клапан; 16 – противовес; 17 – шлюзовой питатель; 18 – дозирующие секции; 19 – планки; 20 – электродвигатель; 21 – муфта; 22, 23 – загрузочное и разгрузочное окна; 24 – отвод.

Одними из важнейших показателей эффективности являются приведённые удельные энергозатраты машины, кВтч/тм:

$$E_{\text{привед}} = (E_1 + E_2 + E_3) / L \quad (1)$$

где E_1 – энергозатраты на забор материала, кВтч/т;

E_2 – энергозатраты шнеконапорного механизма, кВтч/т;

E_3 – энергозатраты на эвакуацию материала из смесительной камеры, кВтч/т;

L – приведённая длина материалопровода, м;

$$E_1 = (N_{\text{шз}} + N_n) / \Pi_{\text{шз}} \quad (2)$$

где $N_{\text{шз}}$ – мощность, потребляемая заборными витками шнека, кВтч;

N_n – мощность, потребляемая питателем (при наличии такового), кВтч;

$\Pi_{\text{шз}}$ – производительность заборных витков шнека, т/ч;

$$E_2 = N_{\text{шн}} / \Pi_{\text{шн}} \quad (3)$$

где $N_{\text{шн}}$ – мощность, потребляемая напорными витками шнека, кВтч;

$\Pi_{\text{шн}}$ – производительность напорных витков шнека, т/ч;

$$E_3 = N_v / \Pi_{\text{см}} \quad (4)$$

где N_v – мощность, потребная для производства необходимого количества воздуха, подаваемого в смесительную камеру (аэрокамеру), кВтч;

$\Pi_{\text{см}}$ – производительность смесительной камеры, т/ч.

Можно сделать выводы о приоритетных направлениях повышения эффективности пневмовинтовых установок, каковыми являются:

- повышение производительности пневмовинтовых установок путём сбалансированной работы ПВУ, что приведёт к увеличению концентрации транспортируемого материала в материаловоздушной смеси. Максимальное совмещение транспортировки материала с иными

- операциями, для чего необходимо разработать новые перспективные конструктивные решения модульных, унифицированных пневмовинтовых установок, транспортирующих различные виды сыпучих материалов (в том числе комковатых, засоренных и увлажнённых) как в целом, так и их отдельных узлов и агрегатов (смесительные камеры, обратные клапаны, напорные механизмы и т.д.), с возможностью быстрой смены взаимозаменяемых узлов и переналадки ПВУ на новый вид материала;
- повышение надёжности и долговечности пневмовинтовых установок, а также отдельных быстро изнашиваемых деталей и рабочих органов, благодаря применению новых износостойких материалов и прогрессивных технологий. Наиболее подвержены газоабразивному износу напорный шнек и броневого гильзы, либо регулируемые прижимные планки (регулируемые прижимные планки, в частности увеличивают ресурс работы напорного механизма на 30%, благодаря возможности контролировать размер зазора между шнеком и цилиндром), которые соответственно и определяют расчётный период работы ПВУ. Следовательно, следует обратить особое внимание на применение новых износостойких материалов и технологий наплавки рабочей поверхности шнека (как лазерная вольфрамо-титановая наплавка фирмы «Peters», дающая поверхность, не требующую дополнительной обработки и увеличивающая ресурс работы шнека до 80%, по сравнению с наплавкой отечественных производителей). На упрощение обслуживания и ремонтов, для чего шнеки выполняются составными по длине и наиболее изношенные напорные витки шнека заменяются в процессе работы ПВУ, что существенно уменьшает стоимость и продолжительность ремонтных операций;
 - научная разработка новых методов и средств пневматического транспортирования материалов, а так-же усовершенствование математического аппарата и написание программ для расчёта гео-

метрических характеристик напорного шнека и иных параметров пневмовинтовых установок на ПЭВМ, т.к. наиболее важными показателями, влияющими на производительность ПВУ, являются геометрические параметры шнека – углы наклона заборных и напорных витков, их количество, длина и диаметр шнека. Это становится очевидным при рассмотрении формул расчёта производительности ПВУ:

по заборным виткам, т/ч:

$$Q_3 = 0,785(D - d)S_3 k_3 \gamma n 60 \quad (5)$$

где D, d – наружный диаметр и диаметр вала шнека, м;

S_3 – шаг заборных витков с учётом толщины витка, м;

k_3 – коэффициент заполнения, зависящий от скорости вращения и характера материала (для цемента при $n = 1400$ об/мин. принимают $k_3 = 0,7$);

γ – плотность материала, т/м³, для цемента принимают $\gamma = 1,2$ т/м³;

n – частота вращения шнека, об/мин.
по напорным виткам, т/ч:

$$Q_n = 0,785(D^2 - d_1^2)S_n k_{ck} \gamma' n 60 \quad (6)$$

где d_1 – диаметр вала шнека, с учётом его наплавки, м;

k_{ck} – коэффициент скольжения, зависящий от противодавления в смесительной камере и скорости вращения (например, при $n = 1400$ об/мин и рабочем давлении 1,2 атм, значение $k_{ck} = 0,5$);

γ' – плотность уплотнённого материала в зоне последнего напорного витка, т/м³, для цемента $\gamma' = 1,6$ т/м³.

Причём наиболее предпочтительны шнеки с увеличивающимся шагом напорных витков, т.к. в этом случае уменьшается расход энергии на 30–60%, уменьшается трение и исчезают пиковые нагрузки, по сравнению со шнеком с уменьшающимся шагом напорных витков.

-повышение долговечности и качества производственного процесса пневмовинто-

вых установок, путём оптимального использования рабочего времени машины, для чего требуется оснастить ПВУ контроллерами, датчиками, автоматическими системами управления рабочим процессом и компьютерами с соответствующим программным обеспечением, т. е. осуществить компьютеризацию управления, защиты от перегрузок и обслуживания машин, а также компьютеризацию расчётов, конструирования, исследований и собственно производства.

- повышение эргономических, эстетических показателей и уровня конкурентоспособности ПВУ;
- сокращение потерь транспортируемого материала и снижение запылённости окружающей среды, применением новых материалов и конструкций осадительно - фильтрующего оборудования;
- повышение уровня эксплуатационной безопасности.

ВЫВОДЫ

1. Полученные формулы позволяют повысить точность сравнительных характеристик эффективности пневмовинтовых установок.
2. Применение предложенных мероприятий позволит повысить эффективность ПВУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пневматическое оборудование. Справочник. Под ред. Калинушкина М.П..-Л.: «Машиностроение». 1986. – 286с.
2. Морозов А.Д. Научные основы создания пневмомеханических разгрузочно-транспортных машин. Симферополь. Изд-во КАПКС. 1992. –256с.
3. Морозов А.Д. Интенсификация работы разгрузочно-транспортного пневматического оборудования. - М.:ЙНИИТЭстроймаш, 1990. –100с
4. Морозов А.Д. Повышение экологической чистоты и эффективности пневморазгрузчиков для строительных материалов. -Киев.: Об-во “Знание” УССР. 1990. –19с.
5. А.с. 439450 СССР, МКИ В65 G 53/68
6. А.с. 1733353 СССР, МКИ В 65 G 53/48

А.Д. Морозов, И.А. Чередниченко

Крымская Академия природоохранного и курортного строительства

Анализ работы обратных клапанов шнековых пневмотранспортных машин

Анализируются конструкции и работа обратных клапанов пневмотранспортных машин для разгрузки и транспортировки пылевидных строительных материалов.

аэрокамера, железобетонная втулка, клапан, пневмоустановка, подшипник, проницаемость, шнеконапорный механизм

Большинство существующих конструкций пневмомеханических машин для транспортирования различных пылевидных грузов после шнеконапорного механизма, т.е. перед входом в аэрокамеру имеют обратный клапан с грузовым или пружинным замыканием, предотвращающий прорыв воздуха через шнековый канал в приемную камеру и далее в складские бункера.

Герметичность соединения тарелки обратного клапана и цилиндра шнекового механизма (рис.1) зависит от объема зазора, остающегося между контактирующими деталями вследствие их шероховатости, крупности, твердости изготовления и монтажа; грузового момента от противовеса, а также характера и величины износа в сопряжениях.

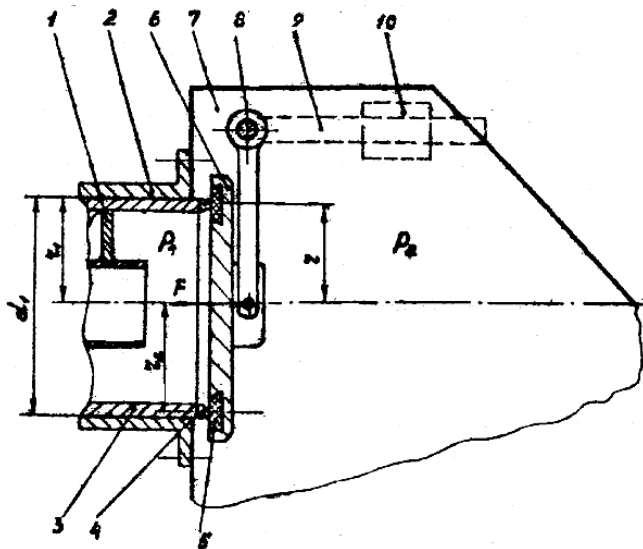


Рис.1 Схема узла обратного клапана

1 – шнек; 2 – корпус цилиндра; 3 – цилиндр; 4 – опорное кольцо клапана (седло); 5 – резиновое уплотнительное кольцо клапана; 6 – тарелка клапана; 7 – смесительная камера; 8 – ось рычага клапана; 9 – рычаг противовеса; 10 – противовес

Расчет объема и интенсивности утечек воздуха из смесительной камеры через закрытый клапан в период остановки шнека пневмопитателя можно осуществить, используя законы фильтрации газов через слой пористого материала, находящегося между уплотнительным кольцом тарелки клапана и опорной частью цилиндра после остановки шнека.

На основании закона Дарси для осимметричной фильтрации газа [2] расчетное уравнение можно представить в следующем виде:

$$\frac{d}{dr} \left(r \frac{dp^{1+m}}{dr} \right) = 0, \quad (1)$$

где $1+m$ - показатель степени, характеризующий термодинамический характер расширения газа.

Решение уравнения (1) для граничных условий $r = r_1$, $p = p_1$, $r = r_2$, $p = p_2$ позволяет получить выражение распределения воздуха в зазоре между кольцом клапана и торцом цилиндра

$$p^{1+m} = \frac{(p_2^{1+m} - p_1^{1+m}) \cdot \ln r_2 / r_1}{\ln r_2 / r_1} + p_1^{1+m} \quad (2)$$

На основании закона Дарси и зависимости (2) скорость истечения воздуха через контактирующие поверхности можно представить в виде соотношения

$$V = \frac{K_n}{\eta_b} \cdot \frac{d_p}{d_r} = \frac{K_n}{\eta_b (1+m)r} \cdot \frac{(p_2^{1+m} - p_1^{1+m})}{\ln r_1 / r_2}, \quad (3)$$

где η_b - динамическая вязкость газа (воздуха).

Тогда суммарный поток воздуха за единицу времени

$$Q_v = \delta \int_0^{2\pi} r v d\theta = \frac{2\pi K_n \delta}{\eta_v (1+m)} \cdot \frac{(p_2^{1+m} - p_1^{1+m})}{\ln r_1/r_2}, \quad (4)$$

где K_n - коэффициент проницаемости; δ - толщина пористого слоя транспортируемого груза.

Считаем истечение воздуха изотермическим, тогда $m = 1$, а выражение (3) примет вид

$$Q_v = \frac{\pi K_n \delta}{\eta_v} \cdot \frac{(p_2^2 - p_1^2)}{\ln r_1/r_2} \quad (5)$$

Согласно [2] δ можно определить из выражения

$$\delta = m_0^{1/2} (\delta_1 + 3), \quad (6)$$

где m_0 - момент спектральной плоскости; δ_1 - уровень деформации.

Для практических расчетов на основании проведенных экспериментальных исследований толщину пористого слоя можно принимать: $\delta = 0,11...0,18\text{мм}$ - при транспортировании цементов и $\delta = 0,16...0,27\text{мм}$ - для различных минпорошков при твердости седла опорной части цилиндра HRC40 - 50; давление в смесительной камере 0,11...0,2мПа

По Козени - Карману [2] коэффициент проницаемости можно определить из выражения

$$K_n = \frac{l^3}{5a^2(1-l)^2}, \quad (7)$$

где l - коэффициент пористости (представляет собой отношение объема пор к объему груза в зазоре); a - удельная поверхность шероховатого слоя (определяется через фактическую площадь контакта).

Эквивалентный диаметр поровых каналов, характеризующих режим течения воздуха в пористой среде согласно [2], определяют по формуле

$$d_p = 4l/a \quad (8)$$

Для практических расчетов пневмовинтового оборудования вместо K_n (7) можно ввести экспериментально установленные коэффициенты фактической проницаемости $K_{фн}$.

Были разработаны и исследованы пневмоустановки производительностью 36, 60 и 100 т/ч, имеющие

обратный клапан, подвешенный на железобетонных и меднографитных втулках, помещенных внутри смесительной камеры [4], [5].

На рис.2 изображены общий вид такой пневмоустановки и вид А.

На станине 1 установлена приемная камера 2, которая соединена со смесительной камерой 3, имеющей обратный клапан 4, трубой 5. Внутри трубы 5 расположен шнек 6 с приводом от электродвигателя 7. Клапан крепится к рычагу 8, который совместно с рычагом 9 и расположенным на нем противовесом 10 фиксируется на оси 11 с помощью винтов 12. Ось 11 входит в двухпорную втулку 13, запрессованную в кронштейн 14 крышки 15. Втулка 13 имеет полость 16 и стопорится винтом 17.

Крышка 15 с монтажной пробкой 18 крепится в смесительной камере 3 четырьмя болтами 19. Между крышкой и смесительной камерой 3 расположена уплотнительная прокладка 20. В крышку 15 вво-

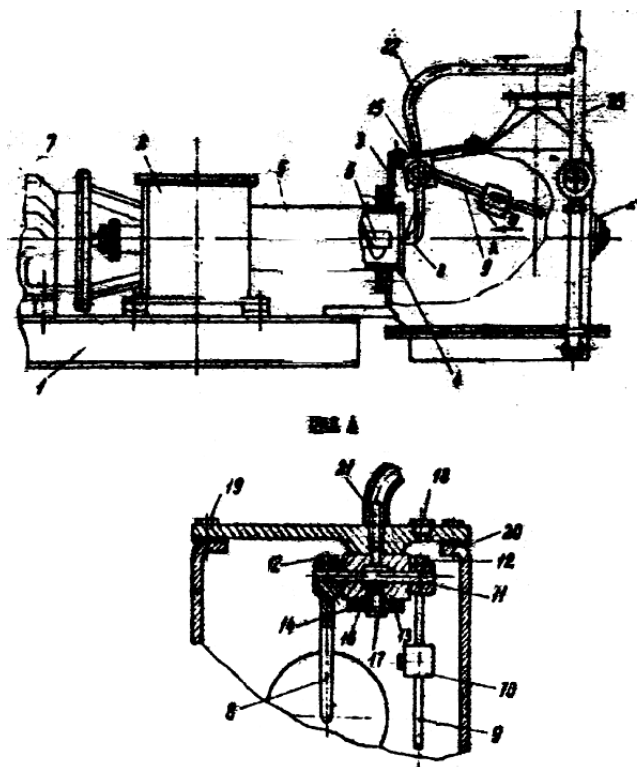


Рис.2. Схема пневмоподъемника с быстросменным обратным клапаном (а.с. №802143)

1 – станина; 2 – приемная камера; 3 – смесительная камера; 4 – обратный клапан; 5 – труба; 6 – шнек; 7 – электродвигатель; 8,9 – рычаги; 10 – противовес; 11 – ось; 12 – винт; 13 – двухпорная металлографическая втулка; 14 – кронштейн; 15 – крышка; 16 – кольцевая полость; 17 – винт; 18 – монтажная пробка; 19 – болт; 20 – прокладка; 21 – штуцер; 22 – воздухопроводящий шланг; 23 – воздухонагревательная линия; 24 – монтажный люк.

рачивается штуцер 21 с закрепленным на нем воздухоподающим шлангом 12, соединенным с воздушной нагревательной линией 23. Смесительная камера имеет монтажный люк 24.

В процессе работы пневмоустановки обратный клапан 4 предотвращает прорыв сжатого воздуха в приемную камеру 2 и совершает колебательные движения на оси 11. Металлографитная втулка 13 выступает за пределы кронштейна и имеет опорные поверхности благодаря наличию внутренней полости 16. Через шланг 22 и сквозное отверстие в крышке 15, кронштейна 14 и втулке 13 сжатый воздух попадает в полость 16 между опорными поверхностями. Пористая втулка 13 изготавливают известными методами порошковой металлургии на железографитной основе с содержанием углерода 4...8% с последующей горячей пропиткой консистентными смазками. Это обеспечивает стабильную устойчивую смазку взаимодействующих поверхностей систем «ось 11 – втулка 13» и «рычаги 8 и 9 – втулка 13» в течение длительного периода эксплуатации.

Благодаря наличию избыточного давления очищенного воздуха в зазорах подвижных соединений «ось 11 – втулка 13» и «рычаги 8 и 9 – втулка 13», исключается проникновение абразивной воздушной смеси между взаимодействующими поверхностями упомянутых деталей и, следовательно, их абразивный износ.

Режим работы устанавливается путем перемещения противовеса 10 и последующей его фиксации на рычаге 9.

Благодаря тому, что весь узел регулировки противодавления пылевой пробки расположен внутри смесительной камеры 3, обеспечивается полная герметизация и, как следствие, предотвращаются потери сжатого воздуха и транспортируемого материала, улучшаются санитарно гигиенические условия в цехе.

В случае необходимости регулирования противодавления в процессе эксплуатации в зависимости от давления в смесительной камере и суммарного сопротивления транспортируемого материалопровода производится перемещение противовеса по рычагу через монтажный люк 24 в смесительной камере.

Ввиду того, что расход воздуха через кольцевые зазоры весьма незначителен, подаваемый через штуцер 21 воздух практически не нарушает установившийся стабильный аэродинамический режим в смесительной камере.

ВЫВОДЫ

1. Расчет объема и интенсивности утечек воздуха через закрытый клапан по формулам (3) и (5) составляет для различных пылевидных строительных материалов погрешность 7...10%.
2. Предложенная конструкция подвесного обратного клапана с продувкой, расположенного внутри смесительной камеры, существенно повышает экологические характеристики пневмоустановки и позволяет при необходимости производить оперативный ремонт пневмоустановки путем замены всего узла обратного клапана через верхнее смотровое окно смесительной камеры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пневматическое оборудование. Справочник. Под ред. Калинушкина М.П. – Л.: «Машиностроение» 1986. – 286с.
2. Морозов А.Д. Научные основы создания пневмомеханических разгрузочно - транспортных машин. Симферополь. Изд-во КАПКС. 2002. – 256с.
3. Морозов А.Д. Методы и результаты создания рациональных рабочих органов пневмовинтовых установок: Сборник докладов IV международной конференции по пневмотранспорту. – Будапешт, 1990. – с.51 - 54.
4. Морозов А.Д. Повышение эффективности пневмотранспорта в строительной индустрии. – Севастополь: Институт геотехнической механики АН УССР, 1990. – с.60
5. Морозов А.Д. Интенсификация работ разгрузочно - транспортного пневмовинтового оборудования. – М.: ЦНИИГЭстроймаш, 1990. – 100с.

В.С. Рутенко

Крымская академия природоохранного и курортного строительства

Триботехнический метод уменьшения энергоёмкости разработки грунта землеройно – транспортными машинами

Приведены результаты исследования вибрационного способа уменьшения трения в трибосистеме «грунт-рыхлитель» путем генерирования псевдосмазочного слоя из грунтового массива
трение, грунт, рабочий орган, вибратор, текучесть

Машинная разработка грунта остаётся весьма энергоёмким, экологически неблагоприятным процессом. Значительная часть мощности, развиваемая землеройной машиной, при этом расходуется на преодоление сил трения, возникающих на поверхности рабочего органа – отвала.

Отечественными и зарубежными исследователями установлено, что за счёт снижения сил трения, путём использования триботехнических приёмов можно резко снизить рабочее сопротивление на отвале бульдозера и соответственно сократить расход жидкого топлива и количество поступления в воздух продуктов сгорания. Так при снижении коэффициента трения скольжения почвы в два раза с 0,25 до 0,125 тяговое сопротивление уменьшается на 20 – 25 %. В такой же мере следует ожидать снижение расхода топлива, загрязнение воздуха и уменьшение износа поверхностей отвала.

Поиск рациональных способов уменьшения трения рабочих органов землеройных машин (бульдозеров, скреперов, автогрейдеров) при разработке грунта выделяет среди других – смазку.

Трибологическим признаком проявления смазочного действия является наличие во фрикционной зоне положительного градиента механических свойств по глубине [1]. То есть должно иметь место соотношение:

$$\frac{d\sigma_x}{dy} > 0;$$

где σ_x – прочность в направлении плоскости скольжения; y – координата перпендикулярная плоскости скольжения.

В трибосистеме “грунт–рыхлитель”, а именно между рабочей поверхностью рыхлителя и грунтовой массой, скользящей по ней в процес-

се разработки, создания псевдосмазочного слоя с положительным градиентом механических свойств возможно вибрационным воздействием на контактно – фрикционную зону грунтового фрагмента (почвы).

Под вибрацией подразумеваются механические колебания, период которых значительно меньше характерного промежутка времени, на котором рассматривается движение системы, а размах – значительно меньше характерного размера системы. Техническая реализация приёмов вибрационного воздействия на контактно – фрикционную зону без передачи колебаний основной массе грунта и металлоконструкции рыхлителя может быть весьма разнообразна.

В лаборатории почвообработки Крымского ГАТУ проведены исследования вибрационного способа уменьшения трения в трибосистеме “грунт - рыхлитель” путём генерирования псевдосмазочного слоя из грунтового массива.

Трибоиспытательная установка воспроизводила прямолинейное скольжение образца – грунта по стальной пластине, которая была соединена с тензодатчиком, регистрировавшим силу трения. Грунт находился в контейнере, приводимом в движение механическим приводом.

В стальной пластине, имитирующей рабочую поверхность почворыхлителя, в рассредоточенных по ней отверстиях с помощью эластомера закреплены специальные электромагнитные вибраторы. Таким образом, поверхность трения пластины была сплошной, гладкой и имела виброактивные участки, способные генерировать механические колебания с частотой от 10с^{-1} до 200с^{-1} и интенсивностью $g > A\omega^2 > g$. Общая площадь виброактивных участков в контуре фрикционного контакта исследуемой пары трения “грунт - пластина” составляла 30%.

Электроэнергия к вибраторам подавалась от электропреобразователя мощностью 2,5 кВт, способного изменять частоту и форму колебаний тока.

Эксперименты проводили с грунтом, имеющем различные физико – механические свойства: чернозём глинистый, супесчаный. Образцы грунта имели влажность 10...15% и уплотнялись в контейнер, перемещавший их по пластине, до твёрдости $150 \frac{\text{Н}}{\text{см}^3}$. Контурная площадь фрикционного контакта пары трения была $12 \times 10^4 \text{ мм}^2$.

Режимы трения в экспериментах были близки к эксплуатационным: скорость скольжения: $0,7 - 1 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$, контактное давление 3...4 кПа. Путь трения грунта по виброактивной поверхности составлял 500 мм.

Экспериментально полученные трибозависимости, характеризующие изменение трения между образцами грунта и пластиной, при изменении частоты вибрации поверхности трения последней, представлены на рис.1.

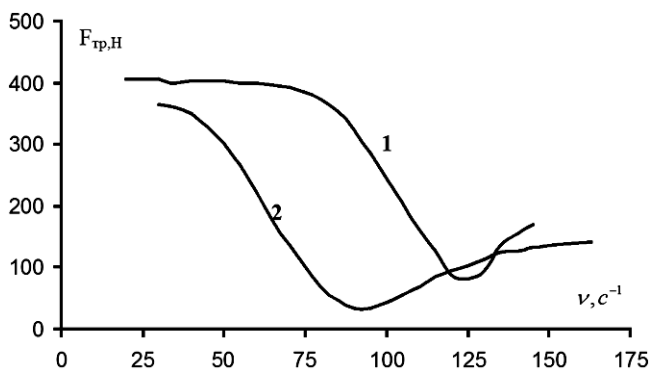


Рис.1 Изменение силы трения между почвой и стальной пластиной при воздействии на контактно-фрикционную зону вибрацией. Грунт: 1-чернозем глинистый; 2-чернозем супесчаный

Из графиков видно, что при определенной частоте вибрации, характерной типу и свойствам почвы, происходит резкое уменьшение силы трения грунта о пластину (рис.1, кривая 2). Наблюдающееся явление снижения силы трения вероятно объяснимо возникновением под действием контактной вибрации в контактно-фрикционной зоне грунта слоя с особыми реологическими свойствами – псевдотекучестью [2].

Этот слой (псевдосмазочный) обеспечивает положительный градиент механических свойств в рассматриваемой трибосистеме.

Присутствие вибрации в фрикционной зоне изменяет характер взаимодействия поверхностей трения образцов о чем можно судить по следующим признакам. Не происходит намазывание почвы на пластину. Поверхность трения почвенного образца после эксперимента становится рыхлой и не имеет затиров с блеском, как при безвибрационном скольжении. Появляются продукты изнашивания почвенного образца в виде пыли, песчинок.

Практическое использование вибрационной смазки в рабочих органах землеройных машин целесообразно лишь в случае рационального энергетического баланса при разработке грунта. То есть уменьшению силы трения на рабочем органе, за счет вибросмазки, должно соответствовать существенное уменьшение общих энергозатрат землеройной машины, включающих затраты энергии на генерирование псевдосмазочного слоя.

Для теоретического исследования энергетики получения вибросмазочного эффекта в трибосистеме «грунт-рыхлитель» составлена механореологическая модель контактно-фрикционной зоны грунта с источником вибрации, размещенном на периферии (рис. 2). Исходя из того, что грунт представляет собой мелкодисперсную микрогетерогенную среду, за основу взята феноменологическая модель дисперсной среды [3].

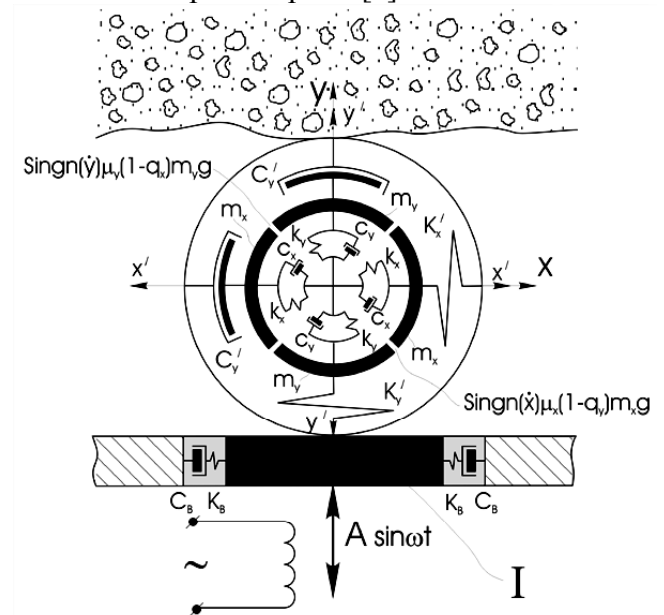


Рис.2 Механореологическая модель контактно-фрикционной зоны грунта.

Структура составленной модели отражает упругодиссипативные и инерционные свойства фрагмента разрабатываемого грунта и учитывает то, что вибровозбуждаемая часть грунта колеблется с переменной амплитудой, а часть его вообще может не участвовать в колебаниях. Основные элементы механореологической модели следующие:

- масса массива грунта $m = m_y + m_x$;

в реологической модели она разбита на две части: приведенную массу $(q_y \cdot m_y + q_x \cdot m_x)$, участвующую в колебаниях и массу, не участвующую в колебаниях, но оказывающую на колеблющуюся массу статическое давление

$$[(1 - q_y) \cdot m_y + (1 - q_x) \cdot m_x];$$

- упруговязкие свойства колеблющейся массы грунта k_y, c_y , и k_x, c_x ;

- вязкие и сухие сопротивления окружающего грунтового массива, оказываемые колеблющейся массе $c'_y, \dot{y}, c'_x, \dot{x}$ и $\text{sign}(\dot{y}) \mu_y (1 - q_y) m_y g$,

$$\text{sign}(\dot{x}) \mu_x (1 - q_x) m_x g,$$

q_x и q_y - часть почвенного массива, участвующая в колебаниях в направлении осей Y и X ; μ - коэффициент сухого трения.

Грунтовая среда, контактирующая с виброактивной поверхностью подвергается вибрации в направлении оси Y по закону $A_y \sin \omega t$ и в направлении оси X по закону $A_x \sin(\omega t + v)$.

Используя уравнение деформации разрыхления дисперсионной среды (1) рассматриваемой реологической модели, определяем энергию для приведения контактно-фрикционного массива грунта в псевдотекучее состояние [3].

$$y = -\frac{q_y^*}{p_x} \cdot g + \bar{Y} \cdot \sin(\omega t + \varphi_y) \quad (1)$$

$$x = -\frac{q_x^*}{p_x} \cdot g + \bar{X} \cdot \sin(\omega t + v + \varphi_x)$$

p_y и p_x - собственные частоты колебаний массива в направлении осей Y и X ;

q_x^* и q_y^* - соотношение масс грунтовой среды, участвующих в колебаниях в направлении осей Y и X ;

φ_y и φ_x - углы сдвига фаз между возмущающей силой, создаваемой вибрирующей поверхностью, и смещением обрабатываемой среды собственно в направлении осей Y и X ;

$\bar{X}$ и $\bar{Y}$ - амплитуды вынужденных колебаний в направлении осей Y и X .

Энергия для вибрационного разрыхления контактно-фрикционного массива почвы

$$E_{\text{разр}} = \frac{mV^2}{2} \quad (2)$$

В нашем случае

$$V = \sqrt{\dot{y}^2 + \dot{x}^2} \quad (3)$$

При p_{yx} и $q_{yx}^* = \text{const}$ безразмерные скорости перемещения среды в направлении осей Y и X

$$\dot{y} = \bar{Y} \cos(\omega t + \varphi_y) \cdot \omega \quad (4)$$

$$\dot{x} = \bar{X} \cos\left(\omega t + v + \varphi_x\right) \cdot \omega$$

Тогда уравнение полной скорости имеет вид

$$V^2 = \bar{Y}^2 \cos^2 t + \varphi_y \cdot \omega^2 + \bar{X}^2 \cos^2(\omega t + v + \varphi_x) \cdot \omega^2 \quad (5)$$

С учетом (5) определим

$$E_{\text{разр}} = \frac{mV^2}{2} \left[\bar{Y}^2 \cos^2\left(\omega t + \varphi_y\right) \omega^2 + \bar{X}^2 \cos^2\left(\omega t + v + \varphi_x\right) \omega^2 \right] \quad (6)$$

Необходимая энергия вибратора

$$E_{\text{вибр}} = \frac{E_{\text{разр}}}{\eta} \cdot qm \quad (7)$$

Энергия вибратора с учетом физико-механических свойств грунта

$$E_{\text{вибр}} = \frac{m^2 \omega^2 q}{2\eta} \times \left[\bar{Y}^2 \cos^2(\omega \cdot t + \varphi_y) + \bar{X}^2 \cos^2\left(\omega \cdot t + \varphi_x\right) \right]$$

η -коэффициент полезного использования вибрационной энергии, сообщаемой грунтовой массе.

Факторы $\bar{Y}$, $\bar{X}$, η обусловлены главным образом совокупностью сопротивлений действующих в разрабатываемом грунте сухого и вязкого трения в контактно-фрикционной зоне, вязкого трения в окружающем массиве и динамикой перемещения фрагмента грунта по поверхности трения рабочего органа землеройной машины.

Предстоит выполнить экспериментальные исследования влияния этих факторов на процесс вибрационной смазки рабочих поверхностей грунторазрабатывающих орудий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крагельски И. В. Трение и износ.- М.:Машиностроение, 1969-420 с.
2. Блехман И. И. Что может вибрация?.- М.: Наука, 1988-208 с.
3. Гончаревич И. Ф., Фролов К. В. Теория вибрационной механики и технологии.- М.: Наука, 1981-319 с.

Раздел 5. Техногенная безопасность

УДК: 534.08: 551.324.85

Е.В. Азаренко, О.В. Блешенко, М.М. Дивизинюк, Т.Я. Шульга

Севастопольский Национальный институт ядерной энергии и промышленности

Предотвращение чрезвычайных ситуаций с водными транспортными средствами в Керченском проливе в период ледохода

В данной статье предлагается новый акустический способ обнаружения ледохода с использованием гидроакустических станций, установленных на научно исследовательских и рыбопромысловых судах, что обеспечивает своевременное обнаружение подвижки льдов независимо от гидрометеорологических условий.

пролив, ледоход, морская среда, водная поверхность, фоновый шум, гидротехнические средства

По данным портнадзора порта Керчь в проливной зоне Керченского пролива и подходах к нему с 1947 по 2002 год произошло более 800 аварийных и чрезвычайных ситуаций.

Примерно, четверть из них произошло в зимнее время при сложных гидрометеорологических условиях и неблагоприятной ледовой обстановке. Особенно опасными являются ситуации, когда внезапно начинается ледоход – интенсивное движение льдов, ранее сковывавших всю акваторию пролива. Это приводит к повреждению корпусов и винторулевых групп у судов, выбрасыванию их на мель, застреванию в торохах, образованных скоплением льда, и даже к гибели водных транспортных средств.

Современное обнаружение подвижки льдов – первого предвестника ледохода – одна из главных задач, которая стоит перед диспетчерскими службами портов и береговыми гидрометеорологическими станциями, обеспечивающими навигационную безопасность в проливе. Обнаружение начала ледохода и заблаговременное оповещение о нем всех водных транспортных средств, находящихся как в проливной зоне Керченского пролива, так и на подходе к ней, позволяет избегать их попадания в аварийные и другие неблагоприятные ситуации.

В настоящее время наблюдение за ледовой обстановкой ведется тремя способами: с береговых постов, летательных аппаратов и искусственных спутников Земли.

Береговые посты – это, как правило, специальные сооружения, осуществляющие проводку водных транспортных средств в прибрежной полосе и их навигационное ориентирование [1]. На этих постах, так же осуществляется гидрометеорологические наблюдения, в том числе и контроль ледовой обстановки. Он производит-

ся визуально. Дальности визуального контроля не превышают полутора десятков километров и только при ясной погоде. В условиях ограниченной видимости (снежный заряд, метель, пурга) и темное время суток дальность наблюдения не превышает десятков метров.

Летательные аппараты, (самолеты, вертолеты, беспилотные самолеты) ведущие ледовую разведку, обеспечивают визуальный и оптоэлектронный контроль морской и прибрежной полосы, шириной несколько десятков километров, и производят в течение двух-трех часов осмотр всей проливной зоны и прибрежной полосы. Однако, это возможно только при благоприятных метеоусловиях и хорошей визуальной видимости.

Искусственные спутники Земли (ИСЗ) являются одним из самых эффективных средств наблюдения за ледовой обстановкой. В полосе их просмотра может оказаться сразу вся проливная зона Керченского пролива. Но ИСЗ так же оказываются нерезультативными в условиях ограниченной видимости (плотный слой облаков над проливом). К тому же информация с ИСЗ может поступать с запаздыванием на 4-12 часов.

Следовательно, ни один из существующих способов обнаружения ледохода в проливной зоне не обеспечивает достоверное обнаружение интенсивного движения льда и как следствие своевременного оповещения водных транспортных средств об ухудшении навигационной обстановки.

Задача данной работы предложить принципиально новый способ обнаружения ледохода в проливной зоне Керченского пролива, обеспечивающий заблаговременное предупреждение водных транспортных средств об ухудшении

ледовой обстановки независимо от гидрометеорологических служб.

Известно [3], что при наличии сплошного ледового покрова в Керченском проливе улучшаются условия гидроакустического наблюдения. В штилевую погоду гидроакустическими станциями (ГАС) в пассивном режиме работы стояночных дизель-генераторов буксиров и транспортов в Керченском проливе обнаруживается на расстоянии 2-3,5 км. При тех же гидроакустических условиях, теми же самыми станциями, когда водная поверхность скована льдом толщиной от 40 до 150 мм, в различных экспериментах шум от этих объектов обнаруживался на дистанциях до 19 км и более. То есть, при сплошном ледовом покрове дальность обнаружения одних и тех же объектов увеличивалась в 6-8 раз.

Дальность действия гидроакустических средств в пассивном режиме определяется решением трансцендентного неравенства:

$$10 \lg A - (20 \lg D + \beta D_{\text{км}}) \leq 20 \lg \delta + 20 \lg P_{\text{II}} - 20 \lg P_{\text{III}}$$

где:

D - расстояние от антенны ГАС до источника шума (буксира, транспорта) в м.

β - коэффициент затухания акустических волн, дБ/км.

A - фактор аномалии, учитывающий конфигурацию акустического поля в зависимости от гидроакустических условий, безразмерный коэффициент.

δ - коэффициент распознавания ГАС определяется ее техническими характеристиками.

P_{II} - уровень помех работе ГАС в Па, приведенных в полосу 1 Гц на расстоянии одного метра.

P_{III} - уровень шумов, создаваемый буксиром (транспортом) в Па, приведенный в полосу 1 Гц на частоте 1 КГц, на расстоянии одного метра.

Анализ этого неравенства, применительно к выше приведенной ситуации показывает, что величины A , β , δ остаются неизменными в одних и тех же гидроакустических условиях для одинаковых ГАС. Уровень приведенных шумов стояночных дизель-генераторов однотипных транспортных средств изменяется не более чем на 10-20% [4].

Следовательно, единственным параметром трансцендентного неравенства, который мог привести к увеличению дальности действия ГАС более чем в 6 раз, является уровень помех работе гидроакустической станции - P_{II} .

Уровень помех работе ГАС состоит из собственного шума гидроакустической станции, вызванного электромагнитными наводками - $P_{\text{ГАС}}$, шумов, которые создает научно-исследовательское судно (НИС), - носитель гидроакустической станции - $P_{\text{Н}}$ и шумов моря - $P_{\text{М}}$ [5], то есть:

$$P_{\text{II}} = P_{\text{ГАС}} + P_{\text{Н}} + P_{\text{М}}$$

Первые два слагаемые остаются без изменения (одна и та же ГАС на одном и том же НИС).

Шумы морской среды порождаются совокупностью источников естественного и искусственного происхождения. Шумы естественного происхождения вызываются волнением водной поверхности, выпадающими осадками, морскими течениями и др. Шумы искусственного происхождения обусловлены деятельностью человека и создаются плавающими в море судами и работающими гидротехническими сооружениями, расположенными в прибрежных районах.

Безусловно, наличие ледового покрова уменьшает естественный шум, устраняя влияние волнения и атмосферных осадков. Одновременно уменьшается и шум искусственного происхождения. При ухудшении ледовой обстановки количество судов, одновременно находящихся в проливной зоне, сокращается с 120 - 200 до 5 - 10 единиц.

Таким образом, уменьшение шумов моря или фонового шума в Керченском проливе, вследствие сковывания водной поверхности льдом, создает благоприятные условия для гидроакустического наблюдения. С другой стороны - изменение фонового шума должно создавать предпосылки для оценки состояния ледового покрова проливной зоны.

С целью проверки этого теоретического вывода была разработана лабораторная установка, схема которой показана на рис. 1. В ее состав вошли НИС со штатными гидроакустическими станциями опускаемой и подъемной. Первая

работала в диапазоне от 2 до 5 КГц, вторая – от 8,5 до 10,5 КГц. Каждая из станций снабжена встроенным регистратором (самописцем), документирующим обнаруженные шумовые объекты. Кроме этого к телефонным выходам станций были подключены самописцы Н-110 и КС-4, регистрирующие не только обнаруженные цели, но и уровень принятых шумов

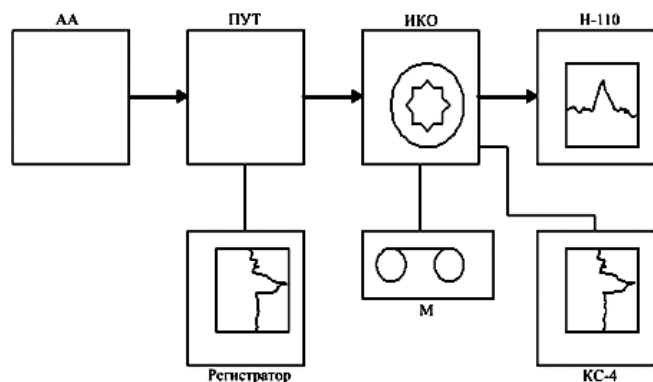


Рис. 1. Схема лабораторной установки.

АА - акустическая антенна. ПУТ – приемно-усилительный тракт. ИКО – индикатор кругового обзора. М – магнитофон.

Дополнительно шумы записывали на магнитофон для последующего анализа на береговом спектре анализаторе.

Методика проведения эксперимента предусматривала одновременное гидроакустическое наблюдение подъемной и опускаемой станциями. НИС располагался на якоре напротив проливной зоны примерно в 15 км от бе-

рега. Опускаемая антенна была заглублена на горизонт 15 м, что составляло половину глубины моря в районе якорной стоянки.

Гидроакустическое наблюдение вели круглосуточно. Каждые 1-4 часа данные акустического наблюдения сопоставляли с результатами, получаемыми от постов берегового наблюдения, судов проходивших по каналу, пробитому в ледовом покрове, а так же фотоснимкам, получаемым с ИСЗ и данным ледовой авиаразведки.

Эксперимент начался после того как весь Керченский пролив был скован льдом и завершился через две недели, когда в зоне пролива начался интенсивный ледоход.

В первые сутки эксперимента, когда пролив полностью сковал ледяной панцирь, был получен осредненный уровень шумов в Керченском проливе. Этот уровень P_0 приняли как нулевой для проведения последующих наблюдений и расчетов. Он не изменялся в течение относительно длительного промежутка времени, пока ледяное поле, сковывающее пролив, было относительно однородно.

В периоды, когда ледокольный буксир выходил из порта и производил взламывание льда, делая проход в ледяном покрове для проводки судов, суммарный уровень шумов увеличивался. Его рост и убывание обуславливали приближением ледокольного буксира и НИС, а затем удалением от него (рис. 2).

Рис. 2. Рекордограммы при работе ледокольного буксира

t_1 и t_2 – начало и конец работы ледокольного буксира. t_3 – появление трещин, расколовшей ледяное поле на две части.

Появление в ледяном поле трещин, разделивших его надвое было зафиксировано ГАС как кратковременный интенсивный треск, отобразившийся на самописцах пиковым всплеском.

С течением времени уровень шумов в Керченском проливе, регистрируемый подъемной и опускаемой ГАС, начал плавно увеличиваться. В тоже время никаких внутренних изменений в ледовом покрове ни с береговых постов, ни с проходящих по каналу судов, ни с ИСЗ зафиксировано не было. Это объясняется тем, что под действием ветра, течения происходят процес-

сы сжатия и деформации ледового панциря, которые сопровождаются ледяным треском. В тоже время самописцы регистрировали единичные выбросы, которые могли быть вызваны образованием новых трещин.

Через двое суток, когда установилась спокойная ясная погода, ледовая авиаразведка обнаружила образование большого количества трещин, которые как паутина покрыли ледяное поле Керченского пролива. Уровень фонового шума теперь на 10-15 дБ превышал первоначальный нулевой (рис. 3).

Рис. 3. Рекордограммы при образовании первых трещин в ледяном поле.

Фоновый шум в Керченском проливе продолжал увеличиваться. По мере его роста увеличивалось количество единичных выбросов (пиков), вызванных образованием новых трещин, но амплитуда их (интенсивность ледового треска, вызванного разломом льда) уменьшалась. Наконец, превышение нулевого уровня фоновым шумом достигло 30 дБ. При этом единичные выбросы практически прекратились. Такая картина наблюдалась на обеих ГАС в течение трех часов (рис. 4).

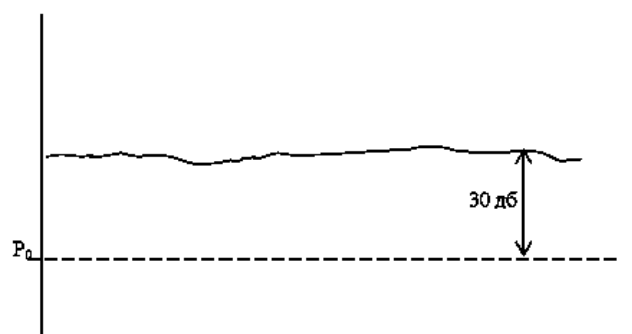


Рис. 4. Рекордограммы через 3ч после образования первых трещин.

Эта часть эксперимента, была условно названа третьей.

Примерно через три часа после того как фоновый шум достиг тридцатидецибельного превышения шумовая картина начала резко меняться. Интенсивность шума с течением времени начала пульсировать – нарастать до 35-38 дБ, а затем падать до 28-32 дБ. С рассветом было обнаружено интенсивное движение льдов. Начался ледоход (рис. 5).

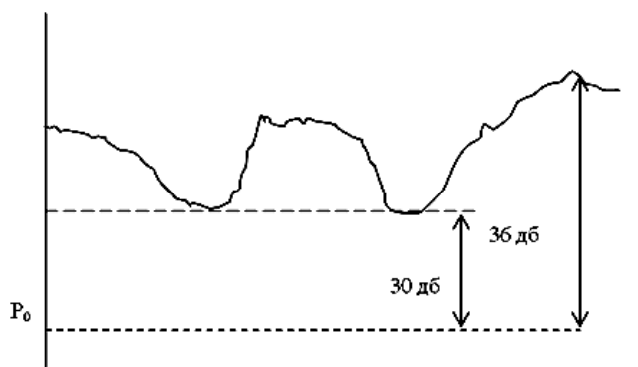


Рис. 5. Рекордограммы перед началом ледохода

Пульсации уровня шумов вызывались образованием ледяных торосов, а затем их разрушением. Средний уровень пульсаций происходил в интервале от 30 до 36 дБ.

ВЫВОДЫ.

Образование и изменение состояния ледяного покрова сопровождается изменением уровня фонового шума (шумов моря) в этом районе, который может быть использован как косвенный критерий для обнаружения начала ледохода.

Штатные гидроакустические станции, установленные на научно исследовательских и других судах, могут использоваться для контроля состояния ледового покрова в проливной зоне Керченского пролива и обнаружения начала ледохода, что позволит сократить аварийные и чрезвычайные ситуации с водными транспортными средствами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Практика кораблевождения. / Под ред. А. И. Смирнова М. Воениздат. 1978 – 400 с.
2. Практика кораблевождения. / Под ред. А. П. Михайловского ГУНиО. 1988 – 896 с.
3. Дивизинюк М. М. Акустические поля Черного моря. Севастополь. Гос. Океанариум. 1998 – 352 с.
4. Справочник гидроакустика./ Под ред. Н. Г. Колесникова Л. Судостроение. 1988 – 552 с.
5. Богомоллов В. М., Плохов Д. Д., Яковлев В. Е. Акустические помехи на судах. Л. Судостроение 1984 – 192 с.

С.Д. Бойчук, Э.Н. Синанов, Л.В. Максимчук

Симферопольское производственное предприятие водопроводно-канализационного хозяйства

В.А. Мякишев, П.Л. Богуцкий

Крымская академия природоохранного и курортного строительства

Опыт продления обеззараживающего действия хлора в условиях длительного транспортирования воды

Рассмотрены особенности обеззараживания питьевой воды при длительном времени транспортировки ее потребителю, приведен положительный опыт производственных испытаний метода аммонизации на водоводе большой протяженности

хлорирование питьевой воды с аммонизацией, водопроводы большой протяженности

В длинных водоводах и разводящих сетях питьевая вода нередко оказывается более низкого качества по сравнению с той, которая выходит из водоочистных сооружений. Это происходит в условиях высоких летних температур воды при большом содержании в ней органических соединений и при сверхнормативной изношенности водопроводных сетей. Вода может стать нестандартной по мутности, цветности, привкусу, содержанию хлорорганических соединений и ионов тяжелых металлов, санитарно-бактериологическим, по гидробиологическим и другим показателям. Часто причиной этого является развитие микроорганизмов и гидробионтов в системах транспорта питьевой воды. Одновременно происходят такие процессы, как коррозия трубопроводов, их обрастание, уменьшение диаметра, увеличение гидравлического сопротивления и, как следствие, перерасход электроэнергии на транспортировку воды в несколько раз [1]. Эти явления зависят от времени нейтрализации остаточного хлора в воде, двигающейся по трубопроводам, а также от концентрации легко окисляемых соединений и загрязнений.

Наиболее распространенный на практике приём продления обеззараживающего действия хлора заключается в увеличении дозы вводимого хлора, которое зачастую приводит к ухудшению органолептических показателей воды, особенно у потребителей в самом начале сети. В удаленных участках сети содержание свободного хлора снижается иногда до нуля. С другой стороны при отсутствии свободного хлора в трубопроводах и резервуарах возобновляется биологическая активность, размножение различных видов микрофлоры. С целью сохранения качества транспортируемой воды и предотвращения

повторного загрязнения её продуктами жизнедеятельности микроорганизмов приходится применять дополнительные химические или физико-химические технологии обеззараживания и увеличивать концентрацию связанного хлора.

В практике эксплуатации больших систем водоснабжения из поверхностных источников должны быть предусмотрены специальные технологии обработки воды хлором, обеспечивающие присутствие в ней остаточного хлора на всём пути движения по трубам. Чаще всего проводят дополнительное хлорирование в тех участках магистральных водоводов, где хлор практически исчезает. Существуют методы продления бактерицидного действия вводимого в воду хлора, например, правильное использование хлораминов, образующихся при хлорировании азотсодержащей воды, или аммонизация. Применение других методов продления бактерицидного эффекта хлора или замена его другими реагентами считаются слишком дорогостоящими. Внедрение технологии аммонизации воды особенно целесообразно при эксплуатации протяжённых водопроводов, в некоторых случаях ею можно заменить несколько этапов хлорирования воды на отдельных участках сети. Однако, обеззараживание воды, содержащей органические загрязнения, большими дозами хлора приводит к образованию тригалогенметанов и других опасных для здоровья соединений [2].

Для решения этой проблемы проведены успешные производственные испытания метода аммонизации на водоводе от водоочистой станции «Межгорное» до Симферополя протяженностью более 30 км. В засушливые годы питьевая вода подается также в Севастополь на расстояние более 70 км. Этот водоочистный комплекс общей производительностью до 250 тыс. м³/сут

использует воду Северо-Крымского канала, аккумулированную в водохранилище.

Сырая вода межгорненского водохранилища характеризуется средней мутностью, низкой цветностью, перманганатной окисляемостью от 3 до 7 мг O_2 /л, содержанием аммиака – 0,2 мг/л (зимой до 1,5 мг/л). В летнее время коли-индекс и общее микробное число исходной воды выражается десятками и сотнями единиц. Водоочистные сооружения находятся на расстоянии 2 км от водозабора и по проекту рассчитаны на выполнение предварительного хлорирования высокими дозами, коагулирования с применением сернокислого алюминия и полиакриламида, отстаивания, фильтрования и заключительного хлорирования. После очистки качество питьевой воды соответствует стандарту.

Из сборных резервуаров чистой воды, где производится заключительное обеззараживание дозами хлора 0,8...1,8 мг/л, чистая вода насосами второго подъёма подаётся по магистральному водоводу диаметром 1200 мм, длиной 17 км в два промежуточных резервуара (по 10 тыс. м³ каждый). После третьего этапа хлорирования центробежными насосами она перекачивается по водоводу диаметром 1200 мм протяжённостью 23 км в резервуары насосной станции четвертого подъёма, а затем по водоводам диаметрами 600 и 400 мм в разводящую сеть городского водопровода.

Общая протяжённость водовода и трубопровода до отдаленного потребителя составляет свыше 45 км, а время пребывания воды в системе транспортирования - более полусуток. При транспортировании воды к потребителю ранее отмечалось ухудшение её органолептических свойств по мутности, цветности, по бактериологическим и гидробиологическим показателям. Пробы нестандартного качества, как правило, обнаруживали при отсутствии в воде остаточного хлора, который из-за большой протяжённости водовода и высокой хлоропоглощаемости не сохранялся в концевых участках городской сети, даже при трехступенчатом хлорировании.

При движении по водоводам уровень остаточного хлора падал до 0...0,2 мг/л. В некоторых точках города хлор практически не обнаруживался. Это было связано с тем, что остаточный хлор практически весь находился в свободном виде и быстро расходовался на

окисление, в т.ч. на коррозионные процессы в начальных участках водоводов.

Для уменьшения коррозионных процессов в начале сети, вызываемых в водоводах подачей больших доз свободного хлора, и обеспечения остаточного хлора в сети города в летний период существующее трёхэтапное хлорирование было признано недостаточным. Хлор дважды вводился на водоочистных сооружениях (первичное и вторичное хлорирование с суммарной дозой 3...8 мг/л), в резервуарах на третьем подъёме небольшими дозами до 1...2 мг/л и присутствовал в воде на всей протяжённости водовода и сети города. В летнее время возрастала окисляемость и хлоропоглощаемость воды и по требованию санитарно-эпидемиологических служб была построена хлораторная на площадке резервуаров и насосной станции четвертого подъёма в начале разводящей городской сети (микрорайон Белое). После дополнительного введения хлора в количестве 1...1,2 мг/л качество воды в городе стало соответствовать стандарту по санитарно-бактериологическим показателям. Однако по технико-экономическим и технологическим соображениям (необходимость эксплуатации дополнительной хлораторной, содержания персонала для её обслуживания и т.д.), а также для предотвращения образования тригалометанов Симферопольский Водоканал отказался от варианта дополнительного многоступенчатого хлорирования воды и приступил к испытанию технологии хлорирования с аммонизацией.

По рекомендации НИКТИ ГХ для аммонизации вместо традиционного газообразного аммиака применён жидкий «Аммиак водный технический» (ГОСТ 9-92), на использование которого для обработки питьевой воды получено разрешение органов здравоохранения. Для приготовления аммиачной воды были использованы два расходных бака объёмом по 20 м³. Дозирование осуществляли с помощью дозатора марки НД 10/100, соотношение аммиака и хлора принято от 1:4 до 1:5. По первому варианту аммиачную воду вводили в контактную камеру перед смесителем водоочистной станции. Технологическая схема установки предварительной аммонизации воды показана на рис. 1.

Аммонизацию воды проводили с апреля по октябрь при температуре воды 10...27 °С. Во время испытаний технологии предварительной

аммонизации с дозами 0,1...0,5 мг/л (из расчета концентрации аммиака - 100%) была исключена необходимость промежуточного хлорирования питьевой воды в с. Веселое.

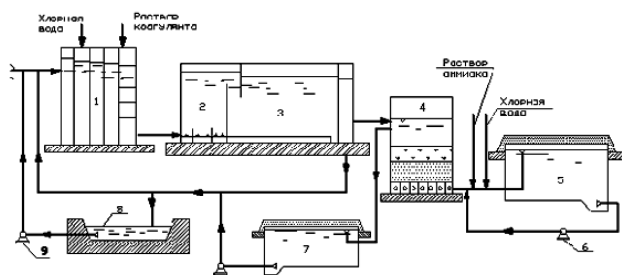


Рис. 1.

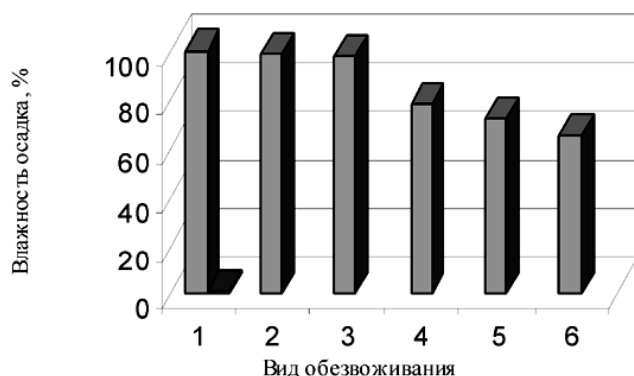


Рис. 2.

С понижением температуры исходной воды менее 10 °С резко падает её хлоропоглощаемость и, соответственно, снижается суммарный расход хлора. Зимой в водохранилище повышается содержание аммиака и часть вводимого в воду хлора находится в связанной форме. Поэтому его доза 3,2...4,5 мг/л обеспечивает содержание хлора во всех водоразборных точках и не требуется четырехэтапное хлорирование воды.

Учитывая меньшую активность связанного хлора, один раз в месяц для профилактики производится отключение подачи аммиака, поэто-

му по всем сооружениям и водоводам подаётся свободный хлор.

Технологическая система хлорирования с аммонизацией воды может работать с высоким обеззараживающим эффектом только при строгом и очень тщательном соблюдении режима дозирования хлора и аммиака с учетом основных режимных параметров (расход воды, содержание органики в воде на всех этапах её обработки, концентрации азота в воде и др.). Поэтому в дальнейшем ставится задача отработки приемов эксплуатации установок по хлорированию и аммонизации с учетом изменяющихся реальных и сезонных показателей работы водоочистных сооружений и сетей. Целесообразно провести испытание технологии аммонизации воды на водоводе от водоочистной станции «Межгорное» до Севастополя.

ВЫВОДЫ

1. Использование предварительной аммонизации на водоочистной станции «Межгорное» позволило при сокращении общего расхода хлора обеспечить в воде водопроводной сети города наличие свободного остаточного хлора и, следовательно, её стандартное качество по санитарно-бактериологическим показателям.
2. Применение технологии хлорирования с аммонизацией значительно улучшило техническое и санитарное состояние сетей водопровода.
3. Внедрение аммонизации на гидроузле «Межгорное» позволило сократить месячный расход хлора на 3,3 т летом и 1,8 т зимой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Санитарно-эпидемиологическая ситуация в водоснабжении. «Вода и водоочистные технологии». № 1, Киев, 2001.
2. Гюнтер Л.И., Алексеева Л.П., Хромченко Я.Л. Влияние условий хлорирования на образование хлороформа. «Химия и технология воды». Т.7, №6. Киев, 1985.

А.М. Копачевский, О.Н. Гилева, П.Л. Богущкий, Е.М. Валкина, Л.Д. Субботкин
Крымская академия природоохранного и курортного строительства

В.А. Зайцев

Крымский институт проектирования объектов коммунального хозяйства
«Крымкоммунпроект»

Способ биохимического восстановления Cr^{6+} до Cr^{3+}

Описано исследование возможности применения микробиологического препарата «Байкал ЭМ1» в качестве восстановителя Cr^{6+} до Cr^{3+} .

хром Cr^{6+} ; Cr^{3+} , биохимическое восстановление, «Байкал ЭМ1»

Ионы тяжелых металлов (ИТМ) занимают одно из ведущих мест среди наиболее опасных загрязнений окружающей среды. По данным Всемирной организации здравоохранения такие металлы, как кадмий, хром, свинец, ртуть, селен, ванадий, относятся к особо ядовитым, такие металлы, как кадмий, хром, никель, обладают канцерогенным эффектом и способностью вызывать мутации на генном уровне [1]. Цинк и железо для теплокровных животных и человека мало токсичны, но даже в относительно небольших концентрациях тормозят процессы самоочищения водоемов, оказывают пагубное воздействие на рыб и их кормовые ресурсы [2]. При концентрации 0,1–10 мг/л ионы тяжелых металлов нарушают работу сооружений биологической очистки, задерживая образование активного ила [3]. Активный ил благодаря уникальному составу микроэлементов и аминокислот является ценным органическим сырьем и может использоваться в качестве пищевой добавки, однако наличие ИТМ делает их непригодными к дальнейшему использованию и создает проблему утилизации осадков городских очистных сооружений.

Для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов используются, как правило, химические и физико-химические методы, чаще всего реагентный, а также электрохимический методы. Недостатками этих методов являются значительный расход реагентов и электроэнергии, повышение содержания солей в очищенной воде, большие объемы образующихся шламов и их утили-

зация, высокая стоимость используемого оборудования и сложность обслуживания.

В литературе описана способность анаэробных микроорганизмов использовать в качестве акцепторов электронов для окисления органических веществ элементы с переменной степенью окисления в их окисленной форме [4]. На кафедре «Водоснабжения и санитарной техники» была предпринята попытка проверить возможность использования нового микробиологического препарата «Байкал-ЭМ1», применяемого в сельском хозяйстве, для восстановления Cr^{6+} до Cr^{3+} в сточных водах гальванического производства. Подготовка микроорганизмов к работе производилась путём смешивания их с питательной средой, в роли которой выступала патока, и выдержке их в течение 24 часов при температуре $35^{\circ}C$.

Далее приготовленную смесь дозировали в водный раствор хромового ангидрида, имитирующий промывную воду с линии хромирования гальванического производства с концентрацией Cr^{6+} равной 36 мг/л.

Через определенные промежутки времени определяли концентрацию Cr^{6+} в обработанных пробах. Анализ на Cr^{6+} производили по стандартной методике с дифенилкарбазидом. Результаты приведены в табл.1, по данным которой построены зависимости содержания Cr^{6+} от времени обработки воды (рис.1).

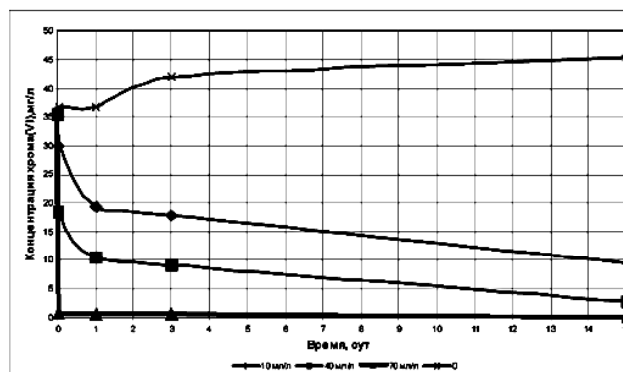


Рис. 1. Зависимость концентрации Cr^{6+} от времени и дозы биопрепарата

Таблица 1

Концентрация Cr^{6+} в обрабатываемой жидкости

Время контроля,		Доза смеси «Байкал ЭМ1» + паточка, мл/л			
		0	10	40	70
часы	сут	Концентрация Cr^{6+} , мг/л			
0	0	35,38	35,38	35,38	35,38
1	0,042	36,82	30,07	18,46	0,79
24	1	36,82	19,42	10,40	0,62
72	3	42,05	17,98	9,21	0,51
360	15	45,33	9,52	2,89	0,00

Как видно из приведенных данных, при обработке различными дозами смеси биопрепарата с паточкой происходит уменьшение концентрации иона Cr^{6+} во всех случаях, причем в случае применения большой дозы (70 мл/л) концентрация Cr^{6+} очень быстро снижается практически до нуля. Степень уменьшения концентрации пропорциональна дозе смеси. Незначительное увеличение концентрации Cr^{6+} с течением времени объясняется естественным испарением воды из открытого сосуда. К сожалению, на данном этапе невозможно точно сказать в какую форму переходят ионы Cr^{6+} , однако очевидно, что примененная смесь способствует восстановлению этого иона. Таким образом, применение препарата с целью биохимического окисления хрома в сточных

водах гальванического производства представляется весьма перспективным, однако требует дополнительных исследований.

ВЫВОДЫ

1. Полученные результаты подтверждают возможность использования опробованной смеси микробиологического препарата и паточки для очистки сточных вод от Cr^{6+} .
2. Для выяснения механизма процесса необходимо проведение дополнительных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Alfrey A.C. Aluminum metabolism and toxicity. // Abstr. Pap. 194th ASC Nat. Meet. New-Orleans. La. Aug. 30 – Sept. 4, 1987. – Washington. DC, 1987. – P. – 418.
2. Грушко Я.М. Ядовитые металлы и их неорганические соединения в промышленных сточных водах. – М., Медицина, 1972. – 320 с.
3. Гвоздяк П.И., Могилевич Н.Ф., Рыльский А.Ф., Грищенко Н.И. // Химия и технология воды. – 13, №9. – с.857 – 861.
4. Дмитриенко Г.Н., Овчаров Л.Ф., Курдюк К.М., Гвоздяк П.И. // Там же. – 13, №9. – с.857 – 861.

И.В. Кравчук

Крымский государственный проектно-изыскательский институт по мелиоративному и водохозяйственному строительству

Исследование возможности понижения уровня подземных вод в Мамайской каменоломне и предотвращение размыва дамбы оз. Сасык-Сиваш

В статье освещена возможность понижения уровня грунтовых вод на центральном участке Евпаторийского месторождения строительных известняков а также приведено одно из возможных решений по предотвращению размыва дамбы оз. Сасык – Сиваш

уровень грунтовых вод, карьер, депрессионная воронка минерализация

Мамайская каменоломня строительных известняков расположена в 15 км от г. Евпатории, севернее с. Каменоломня (рис. 1).

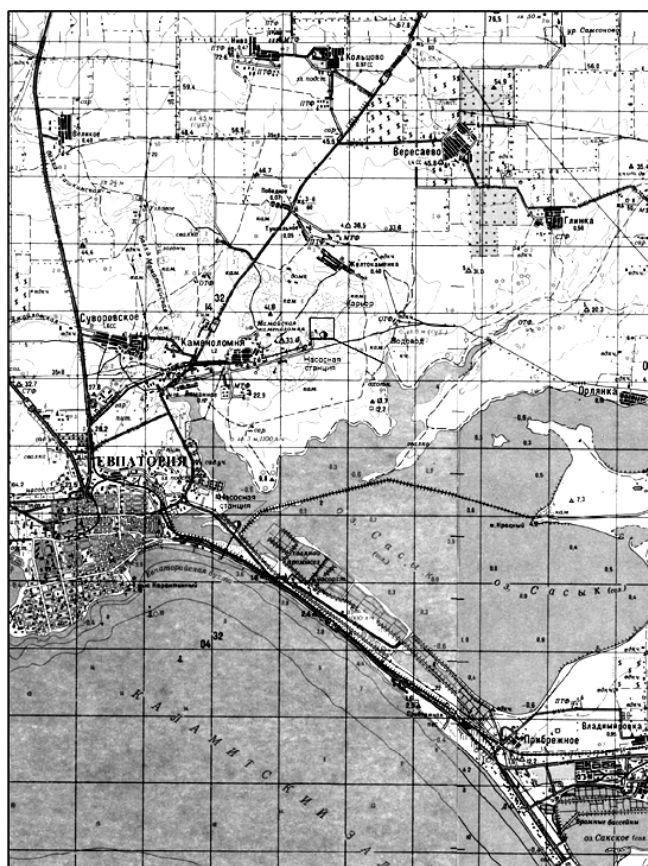


Рис.1. Карта М 1:100000

Карьер каменоломни площадью 750 x 750 м принадлежит ЗАО «Евпаторийский завод строительных материалов».

Район месторождения расположен на стыке двух крупных геологических структур равнинного Крыма – Альминской впадины и Новоселовского поднятия [1]. Участок месторождения сложен породами сарматского яруса (рис. 2).

Средний сарматский горизонт представлен доломитизированными известняками. Верхний сармат слагают белые, серо-белые, макровые и раковинные доломитизированные известняки [2], которые используют в металлургической промышленности Украины. Затопление карьера грунтовыми водами препятствует глубинной разработке карьера.

В настоящее время евпаторийский карьер строительных материалов ежегодно добывает около 2200 тыс. т. доломитизированных известняков. Добыча ведется на глубину 25-30 м, до уровня грунтовых вод. Понижение вод понтмэотис-сарматского горизонта (первый водоносный горизонт) позволит дополнительно добывать около 720 тыс. т доломитов в год. Разработка доломитизированных известняков продолжится открытым способом. Срок разработки карьера до этой отметки составит примерно 40 – 50 лет. По нашим расчетам [3], проведенным при разработке проекта понижения уровня грунтовых вод в Мамайской каменоломне на этапе прединвестиционных исследований, коэффициент фильтрации принят (K_f) – 75 м/сут. Требуемое максимальное понижение уровня грунтовых вод до отметки (– 30) м. Расчет базировали на формулах стационарной фильтрации и вели по формулам для несовершенных котлованов [4].

$$Q = \pi \cdot k \cdot S \cdot \left[\frac{S}{2,3 \cdot \lg \frac{R}{r_0}} + \frac{2 \cdot r_0}{1,57 + \frac{r_0}{T} \cdot \left(1 + 1,18 \cdot \lg \frac{R}{4 \cdot T} \right)} \right], \quad (1)$$

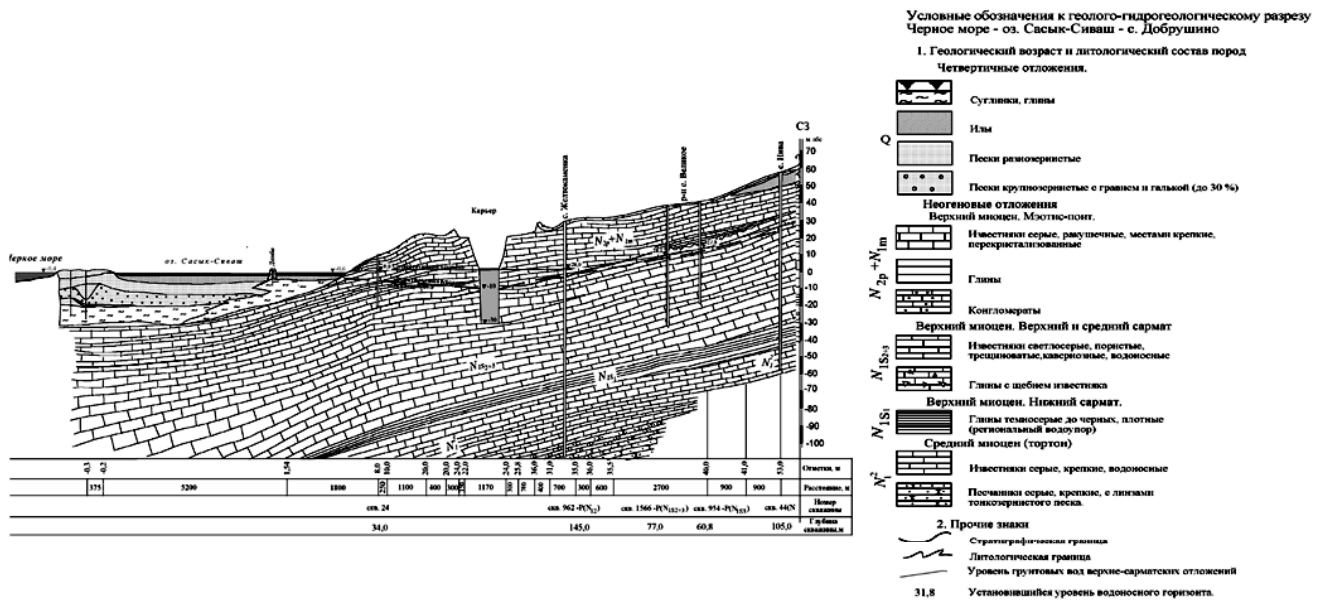


Рис.2. Геолого-гидрогеологический разрез по линии Черное море - оз. Сасык-Сиваш.

где: k_{ϕ} - коэффициент фильтрации, 75 м/сут;

S - требуемое понижение уровня грунтовых вод, 30 м;

R - радиус влияния котлована, м;

r_0 - приведенный радиус, м.

$$r_0 = \eta \frac{L + B}{4} = 26,6 \text{ м};$$

Радиус влияния котлована с учетом инфильтрации определен подбором по формуле Е.Е. Керкиса:

$$R \sqrt{lg R - lg r_0 - 0,217} = 0,66 \sqrt{\frac{k}{W} \cdot S \cdot (2 \cdot H - S) - 0,5 \cdot r_0^2}, \quad (2)$$

где: W - инфильтрация, 0,0004 м/сут;

H - высота естественного уровня подземных вод, 70 м;

по графику для определения приведенного радиуса, $R = 10000$ м.

При достижении требуемого понижения уровня грунтовых вод приток воды в карьер составит 17,44 млн. м³/год. Из экономических соображений целесообразно воду откачиваемую из карьера с помощью насосной станции сбрасывать в северную часть оз. Сасык-Сиваш (рис 1).

Озеро Сасык-Сиваш относится к Евпаторийской группе соляных озер. Все эти озера морского происхождения, они образовались в результате отшнурования от моря песчаными пересыпями узких морских заливов или устьев балок, затопленных при повышении уровня моря. Общая площадь озерной котловины 75,3 км². Площадь северной части зеркала воды, отделенная дамбой, равна 26,2 км². Нормальный уровень воды в северной части озера (- 0,60 м); в южной части (- 0,90 м). В настоящее время водоотвод из северной части озера отсутствует, что исключает возможность регулирования уровня воды в нем [5].

Приходная часть водного баланса озера складывается из трех составляющих: атмосферные осадки, поверхностные и подземные воды. В расходной части водного баланса преобладают потери на испарение. Среднегодовое за многолетний период количество осадков, выпадающих на водную поверхность озера, достигает 368 мм (по данным метеостанции г. Евпатория), что составляет 43 % в общем объеме воды в приходной части водного баланса озера. Это не покрывает расход влаги на испарение, превышающий осадки в 2 – 3 раза. Такая ситуация сохранялась до ввода в эксплуатацию Сакской ветки Северо-Крымского канала.

После нескольких лет эксплуатации ветки СКК и орошения в этом районе поступление подземных вод в северную часть озера увеличилось. В 1997-98 гг. а также 2002-2003 гг. превышение допустимой отметки уровня воды в северной части озера достигло 90 см. Это повлекло за собой разрушение волновым воздействием дамбы, разделяющей северную и южную часть озера, подтопление с. Охотниково, дачного массива и прибрежных территорий.

Сброс воды из карьера в указанном выше объеме приведет к повышению уровня воды в озере до отметки +1,25 м, что неминуемо приведет к разрушению дамбы. Для исключения этого, следует предусмотреть около дамбы насосную станцию, откачивающую воду в Черное море (рис. 1). Производительность насосной станции, режим откачки воды следует назначить из условий поддержания нормального уровня воды в северной части озера в год любой обеспеченности.

Минерализация воды в северной части озера Сасык-Сиваш колеблется в зависимости от влажности года и поступления воды в него. В многоводные годы минерализация находится в пределах 3 – 5 г/л, в сухие 11 – 15 г/л. В среднем за год 7 г/л. Проведенные расчеты показывают, что при сбросе воды из карьера в озеро и из озера в Черное море практически не происходит рассоление северной части озера.

ВЫВОДЫ

1. Понижение уровня грунтовых вод в карьере Мамайской каменоломни известняков с отводом воды в северную часть озера Сасык-Сиваш с помощью откачивающей насосной станцией позволит добывать дополнительно 720 тыс. т. известняков в год.
2. Откачка воды из оз. Сасык-Сиваш насосной станцией позволит стабилизировать уровень воды в озере и предотвратит разрушение дамбы, разделяющей озеро на северную и южную части.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Муратов М. В. Краткий очерк геологического строения Крымского полуострова. М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр, 1960.- 208 с.
2. Гидрогеологическое заключение о возможности понижения уровня подземных вод сарматского горизонта для открытой разработки известняков Евпаторийского месторождения. Симферополь. ГГП «Крымгеология», 2002. – 10 с.
3. Прединвестиционные исследования. Понижение уровня грунтовых вод на центральном участке Евпаторийского месторождения строительных известняков с отводом воды в северную часть оз. Сасык-Сиваш и далее в Черное море. Симферополь. «Крымгипроводхоз». 2003 . – 46 с.
4. Справочник гидрогеолога / Под ред. М. Е. Альтовского. – М.: Госгеолтехиздат, 1962. – 616 с.
5. Отчет о предварительной разведке Сасык-Сивашского месторождения поваренной соли. т. 1 . г. Симферополь. Крымская геологическая экспедиция. 1981. – 141 с.

С.П. Муровский, Т.А. Сапронова

Крымская академия природоохранного и курортного строительства

Загрязнение геологической среды автомобильным транспортом и объектами его инфраструктуры

В статье проведен анализ загрязненности территорий ПГА от автомобильного транспорта и его инфраструктуры. Показано пространственное распределение нефтепродуктов в почвах и техногенных отложениях на основе проведенных исследований воздействия на окружающую среду автотранспортного комплекса.

загрязненность территорий, нефтепродукты, автотранспортный комплекс

В настоящее время практически повсеместно почвы и поверхностные геологические образования на территории городов и населенных пунктов испытывают широкомасштабные изменения химического состава вследствие техногенного накопления аномальных по сравнению с природными концентрациями химических элементов. Почво-грунты, как верхняя зона литосферы, накапливают практически все техногенные выбросы и затем поставляют их в гидросферу.

В почво-грунтах традиционно изучают техногенное накопление химических элементов (тяжелых металлов, радионуклидов и др.) В последние десятилетия загрязнение территорий городов нефтепродуктами постоянно увеличивается и достигает значительных масштабов по степени загрязнения почв, грунтов и подземных вод. [1]

Загрязнению геологической среды (почв и грунтов зоны аэрации) в населенных пунктах, городах, промышленно-городских агломерациях (ПГА) уделяется недостаточное внимание, особенно – распространению нефтепродуктов.

Типичными загрязнителями почв для городских территорий является ртуть, свинец, кадмий, цинк, медь, ванадий, бор и др., значительная доля которых поступает в почвы и на поверхность застроенных территорий с выбросом промышленных предприятий.

Для городов Крыма основным источником загрязнения окружающей среды (ОС) является автомобильный транспорт и объекты инфраструктуры (до 85%). В отработанных газах автомобилей содержится более 200 различных химических элементов и соединений. Значительную часть загрязнения ОС составляют нефтепродукты, испаряющиеся в атмосферный воздух и поступающие в поверхностные отложения, почвы и грунты при сливе, хранении и отпуске топлива, при утечках на АЗС, СТО, складах ГСМ.

Нефтепродукты, разлитые на поверхности, мигрируют в почвы и грунты, сохраняясь в них в состоянии остаточного насыщения (пленочные, сорбированные). Их количество в зоне аэрации зависит от физико-химических свойств почв и грунтов – пористости, коэффициента фильтрации, насыщения парового пространства, химического преобразования углеводородов. [2]

Исследования посвящены изучению количественного и пространственного распределения нефтепродуктов и их производных в поверхностных отложениях, почвах и грунтах зоны аэрации на территории г. Симферополя.

В последнее время количество автотранспорта в городах продолжает неуклонно возрастать, особенно увеличивается количество легковых автомобилей. На конец 2000 года общая численность автотранспортных средств в Украине составляла 6537,0 тыс. ед., из них 860,5 тыс. – грузовые автомобили, 146,9 тыс. – автобусы, 235,5 тыс. – специальные и 5294,2 тыс. – легковые. Общее количество потребленного топлива (без учета сельскохозяйственной техники) составило: бензина – 8,94 млн. т, дизельного топлива – 4,06 млн. т.

По сравнению с 1990 годом общее количество автомобилей в Украине увеличилось на 30%, причем этот прирост произошел в основном за счет легкового автотранспорта (примерно на 75%).

По данным Госкомстата только в собственности предприятий и организаций всех отраслей экономики Крыма на конец 2000 года зарегистрировано 43,613 тыс. ед., из них грузовых автомобилей – 22,037 тыс. ед., автобусов – 5,029 тыс. ед., специальных – 10,972 тыс. ед., легковых – 5,575 тыс. ед. [3]

За последние 5 лет количество автотранспорта в Симферополе увеличилось на 28%, в основном за счет легкового автотранспорта (рис. 1).

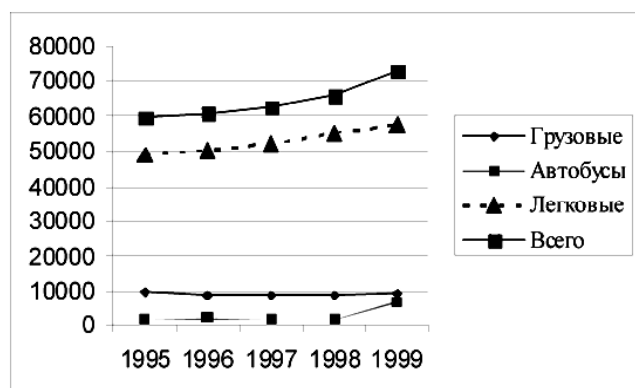


Рис. 1. Динамика роста автомобилей в г. Симферополе

В атмосферу Крыма с отработанными газами автомобилей в 2000 г поступило в среднем 89,9 тыс. т токсичных веществ, т.е. на одного жителя приходится 45 кг токсичных веществ ежегодно.

Основные загрязняющие вещества, поступающие в атмосферный воздух, которые чаще всего превышают ПДК с.с. и ПДК м.р. – оксид углерода (CO), диоксид серы (SO_2) и азота (NO_2), углеводороды (C_nH_m), фенол (C_6H_6O), формальдегид (CH_2O), пары бензина, технических масел, мазута и др. В окружающую среду выбрасывается большое количество тонкоистертой резины (от истирания покрышек об асфальтовое покрытие).

Основную часть нефти и нефтепродуктов составляют углерод (83-87%) и водород (12-14%). Наряду с углеводородами в нефтепродуктах присутствуют такие гетероатомы как сера, кислород, азот. Сера может составлять 0,02-14. В отличие от других элементов, содержащихся преимущественно в смолистых частях нефти, сера присутствует в значительных количествах в дистилляционных фракциях (бензинах).

Содержание азота в нефти редко превышает 1%. Азотистые соединения сосредоточены как в легких, так и тяжелых фракциях нефтепродуктов.

Смолисто-асфальтовые вещества нефти концентрируются в тяжелых нефтяных фракциях – гудронах и битумах. Поэтому асфальтовые покрытия вносят существенный вклад в загрязнение территорий вокруг автомобильных дорог.

В состав нефти входят многие металлы, в том числе щелочные и щелочноземельные (Li, Na, K, Ba, Ca, Sr, Mg), металлы подгруппы меди (Cu, Ag, Au), подгруппы цинка (Zn, Cd, Hg), подгруппы бора (B, Al, Ga, Ti), подгруппы ванадия (V, Nb, Ta), многие металлы переменной валентности (Ni, Fe, Mo, Co, W, Cr, Mn, Sn), а также элементы (Si, P, As, Cl, Br, I).

Химические элементы, содержащиеся в микроколичествах в нефти, могут находиться в ней в виде мелкодисперсных водных растворов солей, тонкодисперсных взвесей минеральных пород, а также в виде химически связанных с органическими веществами комплексных или молекулярных соединений. Содержание микроэлементов колеблется в значительных пределах в нефти различных месторождений (от 1 до 10 раз, по некоторым, например V, до 100 раз). Характерной особенностью нефти и нефтепродуктов является то, что в ней V и Ni встречаются в значительно больших концентрациях, чем другие элементы. [4]

Несмотря на малое содержание в нефти ($1 \times 10^{-7} - 1 \times 10^{-2}$ масс. дол. %), микроэлементы значительно влияют на процессы ее переработки и дальнейшее использование нефтепродуктов. Большинство элементов, находящихся в нефти в микроколичествах, являются катализаторными ядами, быстро дезактивирующими катализаторы нефтепереработки.

Значительная их часть концентрируется в смолисто-асфальтовой части нефти, поэтому спектр микроэлементов в дизельном топливе значительно шире и концентрация их выше, чем в бензине. Современные электростанции, работающие на мазуте, выбрасывают в атмосферу вместе с дымом до тысячи килограммов V_2O_5 в сутки, зола этих ТЭЦ значительно богаче по содержанию ванадия, чем многие промышленные руды.

Спектр микроэлементов в обрамлении автомобильных трасс, объездных городских магистралей значительно шире – Pb, Cd, Hg, Ni, Co, Cr, Cu, V, Zn, Ti и др. и концентрации их значительно выше, чем вокруг магистральных улиц города (меньше Ni, Co, Cr, V, Zn), что объясняется меньшим количеством транспорта на дизельном топливе в городской черте. [5]

Существенный вклад в загрязнение почв, грунтов и подземных (грунтовых) вод вносит автотранспорт и объекты его инфраструктуры – склады горюче-смазочных материалов, автозаправочные станции, станции технического обслуживания, автостоянки и др. Основные загрязняющие вещества – нефтепродукты и их производные, бензин, дизтопливо, техническое масло, бенз(а)пирен и др.

Нормативы ($ПДК_{мр}$, $ПДК_{сс}$) выбросов в атмосферный воздух отработанных газов автомобильных двигателей и испаряемых нефтепродуктов в Украине разработаны (табл. 1.) [6,7]

Таблица 1

**Предельно допустимые концентрации
(ПДК) загрязняющих веществ в
атмосферном воздухе населенных мест [7]**

N п/п	Загрязняющие вещества	ПДК, мг/м ³		Класс опасности
		Максимально разовая	Среднесуточная	
1	Азота диоксид	0.085	0.04	2
2	Серы диоксид	0.5	0.05	3
3	Углерода оксид	5	3	2
4	Пыль	0.15	0.05	3
5	Сажа	0.15	0.05	3
6	Фенол	0.01	0.003	2
7	Формальдегид	0.035	0.003	2
8	Кислота серная	0.3	0.01	2
9	Кислота азотная	0.4	0.15	2
10	Кислота соляная	0.2	0.2	2
11	Бензин	5	1,5(100)*	4
12	Бензин-		1,5(300)*	4
13	Керосин		1,2(300)*	4
14	Нефть сырая (в пересчете на углерод)		300	4
15	Мазут, смазочные масла (в пересчете на		300	4
16	То же в условиях тумана		10	4
17	Аэрозоли минеральных		5	4
18	Ванадия		0.002	1
19	Свинец и его соединения (кроме	0.001	0.0003	1
20	Ртуть		0.0003	1

*) – 1,5(100) – первая цифра ПДК для населенных пунктов, в скобках – ПДК для рабочих зон предприятий.

Для почв и грунтов зоны аэрации не известны нормативы безопасного содержания нефтепродуктов. По данным Государственного комитета охраны природы АР Крыма фоновые содержания суммарных углеводородов в почвах г. Симферополя составляют 100 мг/кг. Методика определения углеводородов в почвах регламентирована нормативным документом. [6]

Исследования пространственного распределения нефтепродуктов в почвах и грунтах на территории ПГА при анализе воздействия объектов инфраструктуры автотранспорта показали, что масштабы распределения нефтепродуктов в пыли почвах и грунтах на территории и вокруг АЗС, СТО, складов нефтепродуктов и др. зависят от времени их эксплуатации. Обследованы АЗС, работающие в течение: < 3, от 3 до 7 и более 40 лет в различных ландшафтных зонах Крыма (табл. 2).

Количество нефтепродуктов на территории АЗС и в зоне обрамления (санитарно-защитная зона – 50 м) зависит также от технического процесса слива, хранения и отпуска топлива. Современные АЗС (начало эксплуатации после 2000 г.) оснащены современным герметичным оборудованием, которое снизило выбросы нефтепродуктов в атмосферный воздух, их поступление в почву, и техногенные отложения.

Количество нефтепродуктов в почвах и техногенных отложениях городов увеличилось в последнее десятилетие. По сравнению с началом 90-х годов в городе появились новые источники паров нефтепродуктов (более 120 АЗС вместо 10 существовавших ранее, 3 склада ГСМ, более 40 СТО, 70 автостоянок и др.), которые суммарно выбрасывают в окружающую среду > 100 т/год паров бензина [8].

При среднем количестве оборота бензина 5000 л/сут на одной АЗС в атмосферный воздух испаряется 2,5 кг бензина в сутки, который затем попадает в почвенный горизонт или техногенные поверхностные отложения.

Принятым в Украине ДБН А.2.2. – 1 – 95 (ОВОС) устанавливается санитарно-защитная зона вокруг АЗС (не менее 50 м). Анализ экологического состояния территорий на объектах инфраструктуры автотранспорта показал, что на многих из них не соблюдены нормативные требования. Расположение ПГА Симферополя в предгорном рельефе, сложное геологическое и тектоническое строение территории, интенсивная антропогенная нагрузка способствовали появлению зон экологического риска, связанных с размещением транспортных объектов.

Результаты исследований суммарного содержания нефтепродуктов в почвах и техногенных отложениях на территории АЗС

№ п/п	Место отбора пробы	Название пробы	Содержание нефтепродуктов, мг/кг		
	Расстояние от источника загрязнения, м	Глубина отбора, м	АЗС «СКВ-Эллас» ул. Ковыльная < 3 лет	АЗС «Борис» Пр. Победы 7 лет	АЗС «Крымнефтепродукт» 40 лет
1	Площадка АЗС 0,0 м	техногенные отложения (пыль) 0,0	795.4	1740.2	28611
2	Площадка АЗС 0,0 м	техногенные отложения (пыль) 0,0	280.5	1973.7	10800
3	Выезд с площадки АЗС 0,0 м	техногенные отложения (пыль) 0,0	318.7	1513.2	11907.6
4	Обочина АЗС 1м	Почва 0,0 -0,05	233.2	617.4	49815
5	--	Почва 0,05 -0,2	180.5	585.7	51416
6	--	Почва 0,2 -0,4	98.7	380.2	39815
7	--	Почва 0,4 -0,6	-	272.4	40406
8	--	Щебнистый суглинок 0,6 -0,8	-	170	1260
9	--	Суглинок 0,8-1,0	-	160	287.3
10	--	Суглинок 1,0-1,5	-	78	120.5
11	Обочина АЗС	Почва 0,0-0,1	140.3	150	474.3
12	Обочина АЗС	Почва 0,0-0,1	97.3	100.1	107.5
13	Обочина автотрассы	Почва 0,0-0,1	417.8	830.4	721.3
14	Клумба транспортного кольца	Почва 0,0-0,2	617,5 – 1432,0		

ВЫВОДЫ

1. Загрязнение почв и поверхностных техногенных отложений нефтепродуктами на площадках АЗС, СТО, складов нефтепродуктов и вокруг них в радиусе до 50 м значительно превышает ПДК.
2. Резко увеличилось количество нефтепродуктов в почвах и грунтах на значительную глубину (> 1,5 м).
3. Накопление нефтепродуктов в верхней части литосферы зависит от рельефа, геологического строения, литологического состава пород зоны аэрации, их пористости, коэффициента фильтрации, уровня грунтовых вод, подтопляемости территорий, на которой расположены транспортные объекты, отсутствие на многих АЗС и складах ГСМ природоохранных мероприятий, снижающих воздействие на ОС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байсарович І.М., Митропольський О.Ю. Вплив нафтопереробних заводів на стан геологічного середовища // Геологічний журнал. - 2002. - №1. - С.41-46
2. Огняник Н.С., Митропольський О.Ю., Парамонова Н.К. Оцінка захисних властивостей зони аерації, запобігання забрудненню підземних вод нафтопродуктами // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2001. - №1. – С. 28-31
3. Влияние автотранспорта на экологическую ситуацию АРК в 2000 году.- Симферополь: Главное управление статистики АРК, 2001, - 9 с.
4. Химия нефти и газа /Под ред. В.А. Проскурякова, А.Е. Драбкина. Изд.2-е, пер.-Л., Химия, 1989. – 424 с.
5. Луцник А.А., Садыкова Г.Э. и др. Роль отрасли «Автомобильный транспорт, объекты инфраструктуры по его обслуживанию в возникновении экологических проблем ПГА» // Строительство и техногенная безопасность / Сб. научных трудов КИПКС. – Симферополь: КИПКС, 1999.- 236 с.
6. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. РД 52.04.186 – 89, 1991.
7. Государственные санитарные правила охраны атмосферного воздуха населенных мест (от загрязнения химическими и биологическими веществами). – К., МОЗ Украины, 1997. -57 с.
8. Сапронова З.Д., Садыкова Г.Э. и др. Экологическая ситуация в ПГА и ее значение для размещения АЗС на их территориях (на примере г.Симферополя) // Строительство и техногенная безопасность / Сб. научных трудов КИПКС. – Симферополь: КИПКС, 1999.- 236 с.

В.А. Мякишев, Л.Д. Субботкин, П.Л. Богуцкий

Крымская академия природоохранного и курортного строительства

Оптимизация технологии обеззараживания питьевой воды на водопроводах большой протяженности

Рассмотрены недостатки и дана классификация методов обеззараживания питьевой воды. Предложены обобщенные схемы обеззараживания питьевой воды на водопроводах большой протяженности и структурная модель оптимизации технологических параметров процесса обеззараживания питьевой воды.

обеззараживание питьевой воды, водопроводы большой протяженности, оптимизация

Одной из самых главных проблем качества водопроводной воды, как в нашей стране, так и за рубежом, является ее обеззараживание. Хлорирование водопроводной воды проводят во всем мире с начала XX века. Если в 1983 году в наиболее благополучных сейчас странах СНГ 19 % проб водопроводной воды не соответствовали стандартам по химическим показателям, а 7 % - по бактериологическим, то сейчас нормативам по химическим показателям не соответствует уже около 25-30 % проб, а по бактериологическим - 10-13 %. Одна из основных причин заключается в том, что существующие технологии водоочистки не справляются с возрастающим антропогенным загрязнением источников, в том числе и по бактериологическому показателю. Другая причина заключается в том, что происходит повторное заражение воды в трубопроводах патогенными микроорганизмами из-за ветхого состояния водопроводных сетей, их подверженности биообрастанию, коррозии и нарушении целостности трубопроводов [1-2]. В таких условиях даже в случаях, когда в процессе подготовки питьевой воды происходит перерасход хлорсодержащих реагентов, она может представлять серьезную эпидемиологическую опасность. В то же время применение повышенных доз хлора является причиной превышения норматива по содержанию остаточного хлора, ухудшению органолептических показателей и появления в питьевой воде большого ряда галогенсодержащих соединений: хлороформа, четыреххлористого углерода, трихлорэтилена и др., что является угрозой здоровью человека даже в минимальных концентрациях [3-4].

Существующие методы обеззараживания воды, можно условно разделить на две группы:

- реагентные (различные соединения хлора, йода, озон, пероксид водорода, перманганат калия, некоторые ионы металлов);

- безреагентные (облучение ультрафиолетом, воздействия электрическим разрядом, электромагнитным полем, радиоактивным излучением, ультразвуком, термическое воздействие, биологическое окисление).

Одни из вышеперечисленных методов широко применяются в Украине или за рубежом, другие только находят широкое применение, остальные находятся в стадии изучения и разработки, но ни один из известных методов дезинфекции не обладает абсолютными достоинствами, такими как безопасность для человека и окружающей среды, высокий и длительный обеззараживающий эффект, невысокая стоимость. В последнее время часто говорится о том, что для избежания этих недостатков наиболее целесообразно применять комплексно различные методы обеззараживания. В этом случае может отмечаться синергический эффект, что позволяет увеличить степень обеззараживания или снизить дозы дезинфектантов при сохранении высокого антимикробного эффекта [5-6].

При изучении методов обеззараживания и технологии введения дезинфицирующих реагентов на различных водопроводах было выявлено около двадцати вариантов схем обеззараживания воды в ходе ее очистки и транспортирования. Сделан вывод, что распространенные существующие реагентные методы обеззараживания можно классифицировать по применяемому окисляющему реагенту:

- 1) хлор
- 2) озон и хлор
- 3) аммоний и хлор

В наиболее общем виде данные методы можно представить в виде схем, показанных на рис. 1.

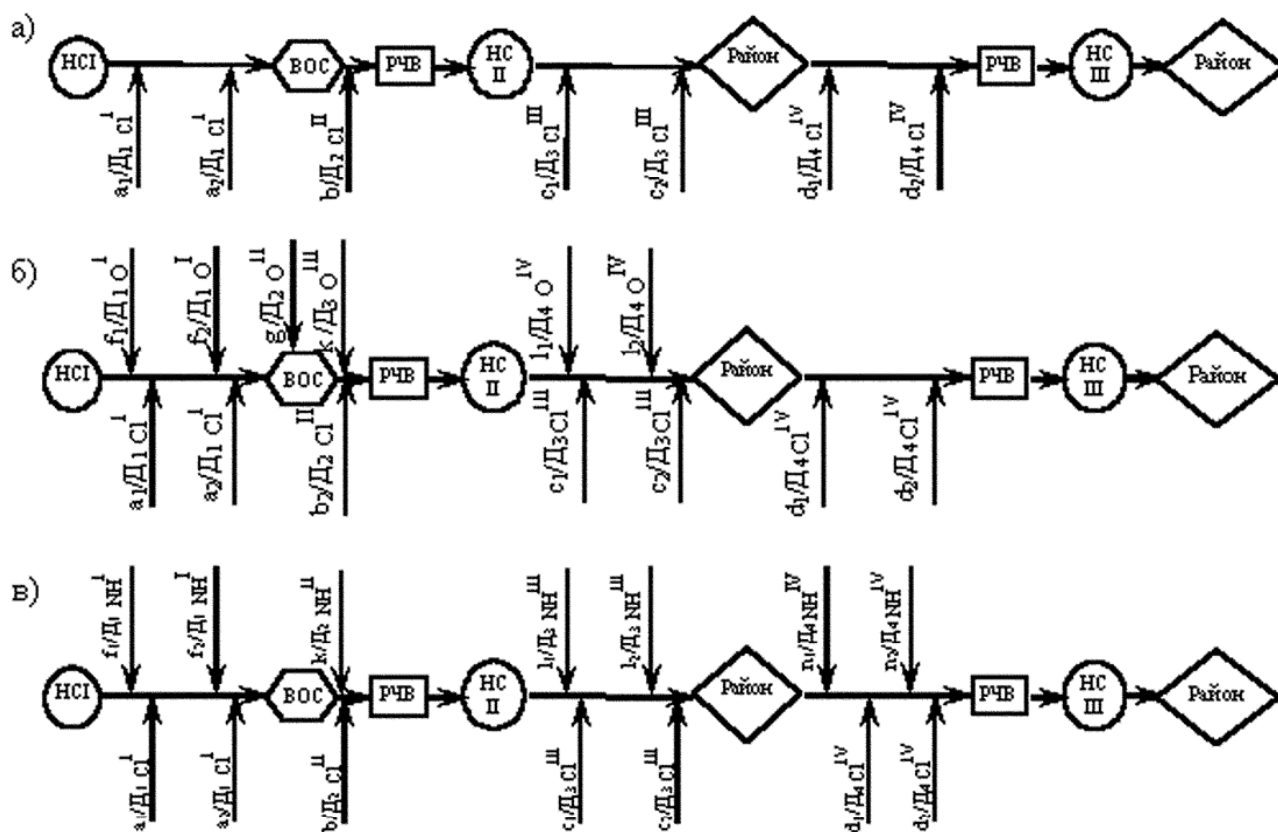


Рис. 1. Схемы обеззараживания питьевой воды на ВОС и водоводах или сетях большой протяженности

а – вариант обеззараживание воды хлором; б - хлором и озоном; в - хлором и аммонием.

Обозначения D_1 , D_2 , D_3 и D_4 на рисунке соответствуют дозам вводимого хлора, озона или аммония соответственно при первичном, вторичном или дообеззараживании. Величины a_1/D_1 и a_2/D_1 , b/D_2 , c_1/D_3 и c_2/D_3 , d_1/D_4 и d_2/D_4 определяют соотношение вводимых доз при дробном хлорировании, а величины f_1/D_1 и f_2/D_1 , g/D_2 , k/D_3 , l_1/D_4 и l_2/D_4 , n_1/D_4 и n_2/D_4 определяют соотношение вводимых доз при дробном озонировании или аммонизации. В зависимости от физико-химических характеристик природной воды и хлорпоглощаемости, состава сооружений на станции водоподготовки, протяженности и технического состояния подающих водоводов в каждом случае принимается

требуемое количество ступеней обеззараживания, выбирается соотношение доз при дробном обеззараживании.

Опыт эксплуатации систем водопровода показывает, что даже при увеличении дозы вводимого хлорсодержащего реагента до 10 мг/л и более в длинных водоводах и городских сетях большой протяженности не выполняется требование по содержанию свободного остаточного хлора в питьевой воде в пределах 0,3-0,5 мг/л и, как следствие, по бактериологическим показателям. В целях соблюдения норматива по остаточному хлору необходимо предусматривать различные мероприятия по пролонгации обеззараживающего действия хлора и дохлорированию воды.

В данной работе предпринята попытка разработать методологию, структурные и математические

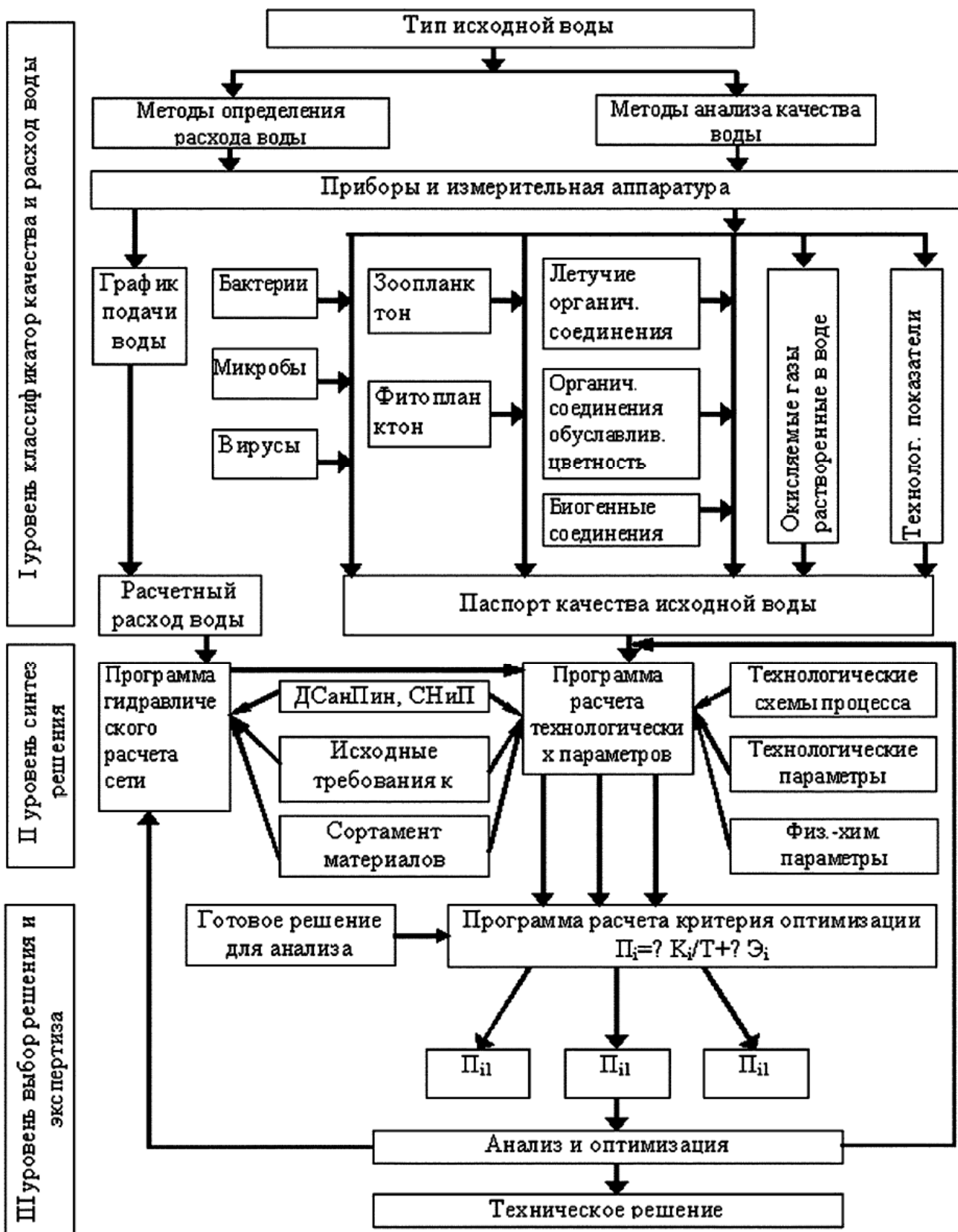


Рис. 2. Структурная модель технологических параметров процесса обеззараживания питьевой воды

тические модели, программное обеспечение для оптимизации технологических приемов обеззараживания питьевой воды в целом для технологической цепочки: «водоподготовка > транспортирование на большие расстояния > дополнительное обеззараживание» в одном ключе. При решении данной задачи оптимизации основными этапами являются:

1. Обосновать и выбрать критерии оптимизации режима обеззараживания. Наиболее часто это один или несколько экономических показателей работы системы обеззараживания воды (например приведенная стоимость – П).
2. Определить ограничения технологических возможностей оборудования для обеззараживания из условия соответствия питьевой воды требованиям, регламентируемыми ДСанПиН № 383 «Вода питьевая».
3. Выявить взаимосвязь технологических характеристик природных вод (температура, рН, состав и т.д) с видом и дозой обеззараживающего реагента, схемой обеззараживания, а также выделить наиболее значимые характеристики;
4. Изучить влияние характера транспортирования воды на режим обеззараживания, изменение бактериальных и органолептических свойств воды;
5. Определить закономерности влияния технологических параметров обеззараживания природных вод на характер изменения содержания свободного остаточного хлора в различных участках распределительной сети большой протяженности;
6. Разработать на основе проведенных исследований структурную и математическую модели изменения содержания остаточного хлора в сети большой протяженности, учитывающую основные факторы, влияющие на снижение остаточного хлора и взаимодействие его с компонентами природных вод;
7. Определить оптимальные режимы дохлорирования воды в водоводах и подающих сетях большой протяженности;
8. Подготовить рекомендации по расчету технологии обеззараживания воды с применением полученного программного обеспечения.

Структурная модель оптимизации технологических процессов обеззараживания питьевой воды приведена на рис. 2.

ВЫВОДЫ

1. В результате анализа существующих схем обеззараживания воды и опыта эксплуатации водопроводных сетей большой протяженности предпринята попытка разработать рекомендации по совершенствованию технологии обеззараживания питьевой воды на ВОС и сетях большой протяженности с целью обеспечения бактериальной безопасности водопроводной воды и сокращения затрат на ее обеззараживание;
2. Подготовлена структурная модель оптимизации технологических процессов обеззараживания воды на станциях ВОС и водоводах большой протяженности;
3. По данным анализа факторов, влияющих на обеззараживание на ВОС и снижение остаточного хлора в распределительной сети, разрабатывается программа управления процессом обеззараживания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гречканев О.М., Петров Е.Ю., // Водоснабжение и санитарная техника. 2001. №10. с. 8-10.
2. Гончарук В.В., Потапченко Н.Г. // Химия и технология воды. 1998. -11. №2. с. 190-217.
3. Дуган А.М., Бариляк И.Р., //Там же. 1996. -18. №5. с. 533-539.
4. Гончарук В.В., Потапченко Н.Г. Вакуленко В.Ф.// Там же. 1995. -18. №1. с. 55-64.
5. Гончарук В.В, Вакуленко В.Ф., Горчев В.Ф., Захалыко Г.А., Карахим С.А., Сова А.Н., Олейник Л.М. //Там же. 1998. -20. №5. с. 476-493.
6. Славинская В.Г. //Там же. 1991. -13. №11. с. 1013-1022.
7. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: В 3-х т. Научно-методическое руководство и общая редакция докт.техн.наук, проф. Журбы М.Г. Вологда-Москва: ВоГТУ, 2001. - 394 с.

В.А. Мякишев, А.М. Копачевский

Крымская академия природоохранного и курортного строительства

С.Д. Бойчук

Симферопольское производственное предприятие водопроводно-канализационного хозяйства, Симферополь

Математическое моделирование и оптимизация технологии очистки поверхностных вод

Разработаны структурная схема и математическая модель для ПЭВМ технологии на водоочистной станции «Петровские скалы», проанализированы основные режимы работы и даны рекомендации по поддержке принятия оперативных решений службой эксплуатации.

информационно-моделирующие системы, функциональные зависимости процессов, управление технологией очистки воды

Наиболее распространенные в современной практике технологические схемы очистки поверхностных вод и принимаемые управленческие решения не позволяют оперативно перейти на оптимальный режим водоподготовки в сложные периоды, связанные с изменением состава и свойств исходной воды. Служба эксплуатации водопроводных очистных сооружений (ВОС) зачастую не может проанализировать сложившуюся обстановку и принять квалифицированные решения для обеспечения очистки воды до нормативных параметров. Сложные ситуации возникают при значительном понижении температуры, в условиях интенсивного цветения водохранилища или увеличения содержания органики в обрабатываемой воде.

Существующие системы обработки информации о процессах водоочистки и принятия управленческих решений, а также прогнозирования входных и выходных параметров работы ВОС чаще функционируют малоэффективно и с большим запозданием, на уровне форм отчетности по данным диспетчерской службы или лабораторий (без анализа влияния всех составляющих качества исходной воды; без обоснованного выбора вида реагента, условий перемешивания и хлопьеобразования; без оптимизации режимов отстаивания и фильтрования; без поиска методов глубокой очистки воды от побочных продуктов хлорирования). По этой причине происходят отклонения по качеству очищенной воды от действующих норм по показателям: остаточный алюминий, мутность, и хлорорганические соединения. Недостаток специалистов с соответствующей подготовкой по эксплуата-

ции водоочистных станций в современных условиях, отсутствие средств на модернизацию технологии ещё более увеличивают вероятность управленческих ошибок.

Разработки последних лет позволили внедрить на крупнейших водопроводах автоматизированные информационно-моделирующие системы для технологической подсистемы комплекса водоснабжения. Они предназначены для оперативного расчета режимных параметров и рекомендаций по технологическим и экологическим параметрам, а также экономических показателей работы водопроводного комплекса. Автоматизация управления водоочистной технологией базируется на предварительном решении информационных, оптимизационных и управленческих задач [1].

Поэтому в условиях интенсивного антропогенного загрязнения водоисточников актуальной задачей служб эксплуатации станций подготовки питьевой воды является:

- разработка системы сбора и обработки информации о технологическом режиме;
- оптимизация технологического процесса очистки воды;
- прогноз экономических показателей функционирования ВОС;
- принятие оперативных решений на основании автоматизированной обработки оперативных данных (программная поддержка принятия решений);
- перспективное планирование технологии очистки маломутных поверхностных вод на основе материального баланса загрязнений;

- комплексное управление технологическими процессами [2].

Наиболее совершенной является информационная составляющая системы, состоящая из подсистем диспетчерского и лабораторного контроля, сбора и первичной обработки информации [3]. Моделирующая составляющая системы состоит из структурной и математической модели технологической схемы ВОС, позволяет оперативно рассчитать параметры процессов очистки, подготовить адаптированные к конкретным условиям рекомендации для текущего управления и прогнозирования.

Для водоочистной станции «Петровские скалы» Симферополя разработана специализированная математическая модель с минимальным объемом исходной информации, реализованная при помощи стандартного программного приложения «Microsoft Excel» которая включает основные функциональные и расчетные зависимости, выражающие процессы реагентной обработки и водоочистной технологии [4]. Данная модель может быть усовершенствована в зависимости от стоящих оперативных задач, внедрения новых технологических методов водоочистки, после расширения базы лабораторно-технологического контроля, выполняемого на ВОС [5].

Технология обработки воды в рассматриваемом случае является классической и состоит из следующих основных процессов и сооружений: Маломутная и органосодержащая вода Симферопольского водохранилища насосами первого подъема подаётся в смесители вихревого типа. Ввод первичной дозы хлора производится в трубопровод сырой воды в трубопровод перед смесителем, на расстоянии обеспечивающим время контакта её с хлором 90 секунд до ввода коагулянта, который вводится в трубопровод непосредственно в смеситель. После этого вода подается в камеру хлопьеобразования со слоем взвешенного осадка, затем поступает в горизонтальные отстойники, где осаждаются скоагулировавшиеся частицы и хлопья загрязнений. Далее на скорых фильтрах производится окончательная очистка до требований стандарта на питьевую воду.

На данных очистных сооружениях были запроектированы и построены сооружения повторного использования промывных вод фильтров с резервуарами-усреднителями без отста-

ивания. Основной причиной отказа от повторного использования грязных промывных вод явилась проблема ухудшения качества очищенной воды при повышении в летние месяцы перманганатной окисляемости, а также при низких концентрациях взвешенных веществ и пониженных температурах.

Опыт обработки маломутных вод со значительным содержанием органических соединений выявил рост концентрации побочных продуктов хлорирования в очищенной воде и гигиеническую опасность повторного использования промывных вод.

Структурная модель очистных сооружений «Петровские скалы» показана на рис. 1 и состоит из основных и вспомогательных параметров и функциональных зависимостей технологических процессов на ВОС.

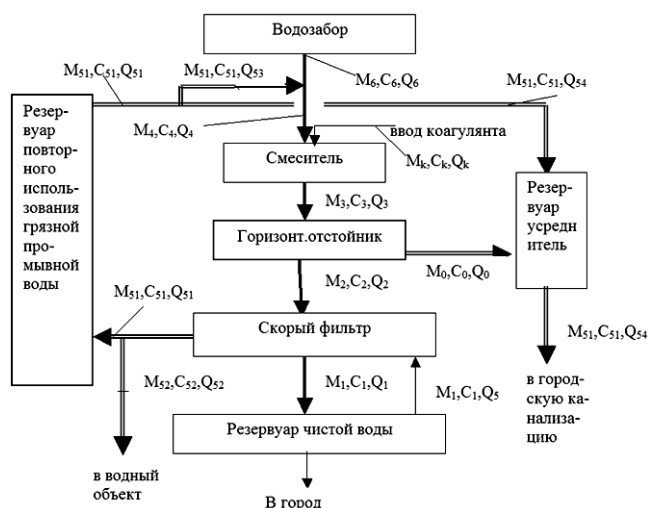


Рис.1. Структурная модель очистных сооружений «Петровские скалы»

В результате обобщения эксплуатационных показателей работы ВОС по качеству воды были получены зависимости, характеризующие эффективность очистки на различных стадиях обработки воды. Данные очистные сооружения работают в нестабильных условиях: мутность приходящей воды изменяется в пределах от 2 - до 14 мг/л, значительная часть которых приходится на органические вещества природного и антропогенного происхождения в коллоидной форме с лиофильными свойствами; при пониженных температурах их коагулирование про-

исходит неэффективно и это нередко становится причиной недостаточной очистки воды.

В результате статистической обработки производственных показателей режима реагентной обработки и очистки составлена расчетная модель технологии очистки маломутных поверхностных вод на основе материального баланса загрязнений ВОС и выведено соответствующее ей уравнение эффективности очистки воды в горизонтальных отстойниках при малых мутностях исходной воды.

$$\begin{aligned} \Xi = 62,04 - 14,83M_6 + \\ + 2,64M_6^2 - 0,15M_6^3 \end{aligned} \quad (1)$$

Решение уравнения позволяет рассчитать конечную мутность воды после горизонтальных отстойников при различных значениях загрязненности воды, поступающей на ВОС. После расчета эффективности по уравнению (1) можно определить количество осадка, образующегося в горизонтальных отстойниках, соответствующее производительности станции Q и мутности исходной воды M₆.

Процесс накопления токсичных загрязнений в очищенной воде, в данном случае остаточного алюминия, может быть представлен в виде следующей цепочки уравнений.

$$C_1 = 0,158 \cdot C_2 (1 - \Xi_\phi) \quad (2)$$

$$C_2 = C_3 \left(1 - \frac{\Xi_{отс}}{100}\right) \quad (3)$$

$$\Xi_\phi = \frac{M_2 - M_1}{M_2}, \quad (4)$$

где: C₁, C₂, C₃ - концентрация остаточного алюминия соответственно в воде резервуара чистой воды (РЧВ), после отстойника, перед отстойником, мг/л;

Ξ_φ - эффект снижения алюминия в скорых фильтрах;

Ξ_{отс} - эффект задержания алюминия в отстойниках;

M₂, M₁, - мутность воды соответственно отстойной и в РЧВ.

$$C_3 = \frac{Q_4 C_4 + (Q_4 + Q_k) C_k}{Q_4 + Q_k}, \quad (5)$$

где: Q₄ - расход воды перед смесителем;

C₄ - концентрация алюминия перед смесителем;

Q_к - расход раствора коагулянта;

C_к - концентрация алюминия в растворе коагулянта.

$$C_4 = \frac{Q_5 C_5 + Q_6 C_6}{Q_5 + Q_6}, \quad (6)$$

$$C_5 = \frac{Q_2 (\Xi_\phi \cdot C_2) + Q_5 \cdot C_1 \cdot 6,33}{Q_5}, \quad (7)$$

где: C₅ - концентрация алюминия в грязной промывной воде

Q₅ - расход грязной промывной воды;

Q₆ - расход исходной сырой воды;

C₆ - концентрация алюминия в исходной воде, мг/л.

Данная цепочка аналитических уравнений позволила создать математическую модель очистных сооружений, при помощи которой были проанализированы характерные режимы работы станции. Расчеты производили с учетом таких факторов, как качество исходной воды по мутности, температуры, перманганатной окисляемости, а в результате составляли рекомендации по оптимальной дозе реагентов и производительности сооружений.

После расчета различных вариантов трансформации загрязняющих веществ в сооружениях водоочистной станции были сделаны следующие выводы:

1. При снижении начальной концентрации взвешенных веществ в исходной воде повышается концентрация остаточного алюминия в очищенной воде;
2. Увеличение мутности в очищенной на водоочистной станции воде до 1,5 мг/л приводит к возрастанию концентрации остаточного алюминия в очищенной воде.

Выводы проиллюстрированы на диаграммах (рис. 2 - 3). Очистка воды до уровня мутности 0,5 мг/л позволяет снизить содержание остаточного алюминия до 0,2 – 0,3 мг/л, и тем самым, получить безопасную для здоровья питьевую воду по концентрации в ней ионов тяжелых металлов.

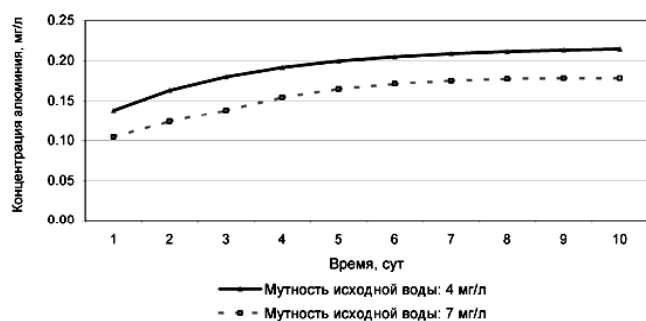


Рис.2. Динамика содержания остаточного алюминия в очищенной воде ВОС при остаточной мутности 0,5 мг/л

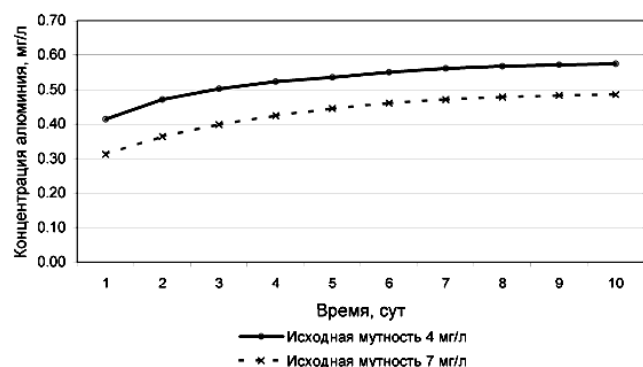


Рис.3. Динамика содержания остаточного алюминия в очищенной воде ВОС при остаточной мутности 1,5 мг/л

Кривые на рис. 3 наглядно отражают, что после трёх суток возврата грязных промывных вод в начало водоочистной станции концентрация остаточного алюминия начинает превышать предельно допустимую концентрацию алюминия (0,5 мг/л) в очищенной воде (при мутности исходной воды – 4 мг/л и остаточной мутности – 1,5 мг/л).

Из этого следует, что по санитарно-гигиеническим соображениям невозможно в полном объеме повторно использовать грязную промывную воду для подготовки питьевой воды.

Проанализировав изменение концентрации взвешенных веществ в грязной промывной воде за 10 минут промывки установили, что в первые 3 минуты грязная промывная вода содержит 80% загрязнений от общей массы загрязнений, вымытых из фильтра за всё время промывки. Поэтому было принято решение о направлении

первой трехминутной порции грязной промывной воды на очистные сооружения городской канализации, а второй семиминутной порции грязной промывной воды со средней концентрацией взвешенных веществ менее 10 мг/л - на повторное использование в начало очистных сооружений. Данная схема позволяет вернуть в оборот и использовать 60 – 70% грязной промывной воды без увеличения концентрации остаточного алюминия и хлорорганических соединений в очищенной воде.

ВЫВОДЫ.

1. В результате обобщения показателей работы водоочистной станции «Петровские скалы» получены формулы, позволяющие рассчитать и быстро оценить уровень накопления остаточного алюминия и других загрязнений в очищенной воде в зависимости от продолжительности повторного использования грязных промывных вод и таких факторов, как загрязненность исходной воды, дозы добавляемых в воду коагулянта и хлора.
2. В работе обоснован отказ от повторного использования всего количества грязных промывных вод на водоочистной станции по санитарно-гигиеническим требованиям, предъявляемым к очищенной воде (показатель - концентрация остаточного алюминия).
3. Созданы структурная схема и математическая модель, реализуемая на современных ПЭВМ, технологии очистки воды станции производительностью 40000 м. куб в сутки для расчета характерных режимов работы станции и получения рекомендаций по оптимизации показателей её работы при различных режимах.
4. Внедрение системы оптимизации технологических процессов обеспечит сокращение эксплуатационных затрат; оперативное прогнозирование параметров и управление режимом водоочистного комплекса; более высокую надежность его функционирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волик Ю.И. Управление работой водопроводных очистных сооружений с помощью персонального компьютера. /Сборник докладов Международного конгресса «Экология, Технология, Экономика, Водоснабжение и Канализация», -Ялта: 1997г.
2. Долгонос Б.М., Дятлов Д.В., Богданович О.В., Громов Д.В., Корчагин К.А. Программный комплекс AQUACAD в системе управления качеством воды на водопроводных станциях. Международный водный форум «АКВА Украина – 2003», - Киев.
3. Хоружий П.Д., Ткачук А.А., Батрак П.И. Эксплуатация систем водоснабжения и канализации. –К.: «Будівельник», 1993, -230с.
4. СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение, наружные сети и сооружения. - М.: «Стройиздат», 1985, - 132с.
5. Правила технической эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения населенных мест. Госжилкомхоз Украины, –К.: 1995, - 97с.

В.Н. Саломатин, М.В. Горячих, В.Н. Шмигальский

Крымская академия природоохранного и курортного строительства

И.И. Грабовой

Крымский государственный инженерно-педагогический университет

Новое в технологии обучения

Рассматриваются актуальные и перспективные вопросы обучения в условиях возрастающего потока информации и трудностях её усвоения

образование, информация, знание, обучение, работоспособность

Качество учебного процесса определяется квалификацией профессорско-преподавательского состава, материально-технической базой учебного заведения, довузовской подготовкой студентов, а также их работоспособностью, вниманием и желанием овладеть будущей профессией.

Лавинообразное возрастание потока информации в последние десятилетия вызвало усложнение учебных программ и резкое увеличение объема даваемых студентам знаний. Это потребовало от них большого напряжения в работе для восприятия и усвоения знаний во время учёбы.

Не могло не отразиться на современном процессе обучения всех уровней подготовки специалистов снижение жизненного уровня большинства семей, возрастающая смертность, экологические катаклизмы, миграция населения и падение духовной жизни общества.

В настоящее время уже известно, что каждый орган человека, его энергетические каналы и узлы, клетки на атомарном уровне резонируют: происходит энергоинформационный обмен. Колебания влияют не только на тело, но и на душу. В благоприятном диапазоне частот и амплитуд человек испытывает блаженство, а в отрицательном – угнетение, подавленное состояние, и как следствие, пониженную работоспособность. Поэтому знания должны быть не только одухотворены, но и приобретаться в нормальных условиях, иначе они могут порождать необратимые процессы в психике человека и другие заболевания, а также противочеловеческие действия и всякие нежелательные явления. Следовательно, передача информации должна происходить в обстановке высокой нравственности и морали, при благоприятном воздействии окружающей среды. Такому процессу обучения может способствовать также подавление геопатогенных воздействий на человека, например, нейтрализация геобиологических и геомагнитных влияний сеток Карри-Хратмана и Витмана, которые негативно влияют на людей, как и

геопатогенные зоны (ГПЗ). Последние представляют собой участки геологической среды, оказывающие при длительном воздействии отрицательное влияние на человека, а также многие другие биологические и даже технические объекты. Они приурочены к аномальным физическим полям, которые связаны с современными геологическими разломами, пересечениями подземных водных потоков и вышеупомянутых энергетическими прямоугольными (Карри-Хратмана) и ромбическими (Витмана) сетками.

Как показали исследования, проведённые на ЮБК совместно с институтом им. Сеченова, наибольшее количество заболеваний детей связано с сетками Витмана. Они генерируют электрические и магнитные поля, вдоль них проходят эмиссии ионов и электронов, а также рентгеновское свечение. Концентрация электромагнитной энергии наблюдается в местах контакта пород с разными геофизическими характеристиками, вдоль фильтрационных потоков, чаще всего приуроченных к таким зонам [1].

Проблема ГПЗ известна с давних времён. Но особенно она оживилась после распространения истории о “раковых” домах. Одним из первых был Г. фон Поль, опубликовавший результаты своих наблюдений в Баварии. Оказалось, что спальные места всех 58 человек, умерших от рака, находились в таких зонах. Вместе с тем, в институте клинической и экспериментальной медицины г. Новосибирска установлено, что контролируемое пребывание человека в ГПЗ может применяться даже в лечебных и профилактических целях для коррекции биоэнергетического состояния организма, активизации жизненных сил и творческих способностей. Было показано, что кратковременное нахождение в аномально высоких по интенсивности излучения зонах, пересечение их для здорового молодого организма может играть и положительную роль, выступая как биостимулятор.

Такие чисто геопатогенные зоны профессор Кюнцель (г. Москва) предложил называть геовитагенными (животворными). Это открывает возможности использования положительного влияния всех ингредиентов структуры поля Земли. Оказываясь на геопатогенных линиях, которые проходят с севера на юг через 2 м и с запада на восток через 2,5 м, а также в их узлах (пересечение линий), студенты во время занятий могут испытывать как возбуждение, так и угнетённое состояние. Последнее вызывает ухудшение слуха, зрения, повышенную утомляемость и снижение работоспособности. Чтобы уменьшить негативные влияния, учебные аудитории должны быть строго ориентированы, доску и демонстрационные системы необходимо расположить только на восточной стороне. Помещение необходимо также обследовать на наличие ГПЗ, полосы и узлы которых нейтрализовать специальными материалами, а посадочные места и столы расположить вне опасных мест, чтобы избежать вредных воздействий на обучающихся. Аудитории следует строить и отделять с учётом биополя и природных условий, а также благоприятных свойств и качества материалов. [2-3].

На стенах аудиторий целесообразно смонтировать цветомузыкальные колонки и насадки с ароматическими веществами, соединённые с пультами индивидуального включения. Например, цветомузыкальные устройства излучают красный или оранжевый свет, придающий силу и энергию; зелёный – создающий гармонию и улучшающий восприятие информации; синий (или фиолетовый) – повышающий оптимизм, концентрацию внимания и мыслительного процесса. Насадки испускают ароматы. К примеру, лаванда снижает депрессию и стимулирует творческую активность, мята помогает избавиться от умственной усталости и разброса в мыслях; сосна и можжевельник очищают воздух и укрепляют организм; эвкалипт уменьшает эмоциональные нагрузки [4-5].

Расположение доски на восточной стороне аудитории и ориентация посадочных мест с запада на восток обеспечивают положительное влияние магнитного поля Земли на умственную активность студентов. Во время занятий преподаватель с помощью пульта или по компьютерной программе создаёт в заданной последовательности импульсы цветомузыки и ароматов, которые благоприятно воздействуют на рецепторы органов зрения, слуха, обоняния и включают психофизиологические механизмы активации умственной деятельности обучающихся. Использование этих рекомендаций позволит повысить уровень технологии учебного процесса, улучшить внимание, восприятие и запоминание излагаемого пре-

подавателем материала, существенно увеличить усвоение большого объёма знаний.

Как показали обследования аудиторий, рабочих мест и других помещений в ряде заведений и учреждений Симферополя, на общем повышенном фоне наблюдаются и экстремальные аномальные зоны шириной 4—150 см, длительное пребывание в которых опасно. Иногда было достаточно переставить рабочий стол, скорректировать пребывание в этих зонах, чтобы избавиться от негативных воздействий.

В связи с интенсивной компьютеризацией учебного процесса доминируют технопатогенные зоны (ТПЗ). В них уровень излучений, примерно, в два раза выше, чем в обычных. Очень важна в таких случаях правильная расстановка оборудования и эксплуатация рабочих мест. В связи с этим, необходимо уже сейчас обследовать все учебные заведения для выявления неблагоприятных зон, а при ремонте, реконструкции и строительстве новых осуществлять соответствующую ориентировку помещений и насыщенность их современной техникой. Много можно улучшить даже правильным составлением расписания.

Согласно восточным учениям, у человека более ста органов чувств, и когда вибрации Вселенной суммируются с вибрацией цвета и аромата, то преобразуются моральные силы и возрастает сила Духа. Вместе с тем, начинает властвовать сила материальной мысли, способной пронизывать и концентрировать пространство, улучшая его.

Процесс образования – это прежде всего энергоинформационный обмен в гармонии со всеми силами Природы. Поиск истины, духовная чистота, здоровье являются первоосновами процесса обучения.

Нужно осознать, что проблемы образования третьего тысячелетия затруднительно решать устаревшими технологиями без их совершенствования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Саломатин В.Н. Импульсные электромагнитные эмиссионные процессы в грунтах – индикаторы экологических катастроф. – // Экологическая геология и рациональное недропользование – С-Пб: 2000. – С. 404-405.
2. Шмигальский В.Н., Грабовой И.И. Экологические аспекты свойств и качества строительных материалов. – Природа. – 2001, №3-4. – С. 19 -21.
3. Шмигальский В.Н., Шмигальская М.В. С учётом биополя и природных условий // Природа. – 1998. - № 3-4. – С.28-30.
4. Грабовой И.И. Друзидотерапия. – Симферополь: Таврия -Плюс. – 1999. – 192 с.
5. Шмигальский В.Н., Шмигальская М.В. Целительные цвета и запахи // Вестник физиотерапии и курортологии. – Евпатория: ВИЗЕН. – 1996, №3. – С. 34-36.

В.Н. Шмигальский

Крымская академия природоохранного и курортного строительства

И.И. Грабовой

Крымский государственный инженерно-педагогический университет

Экологические аспекты свойств и качества строительных материалов

Описана новая группа свойств строительных материалов, названных экологическими, показана целесообразность их определения и учёта.

геопатогенная зона, радиоактивность, биополе, биолокатор

В настоящее время свойства строительных материалов подразделяются на шесть основных групп: физические, химические, физико-химические, механические, технологические и эксплуатационные.¹ Эти свойства, безусловно, дают значительную информацию о материалах. Но уже сейчас есть основания полагать, что принятая классификация не является исчерпывающей, ибо никак не учитывает степень воздействия материалов на людей. Ни одно из свойств материалов в этих группах не направлено на удовлетворение потребностей человека как сложной биоэнергоинформационной системы.

Давно уже замечено, что самочувствие людей напрямую зависит от того, в окружении каких материалов, мебели, цветовой гаммы и формы помещений, а также запахов, они находятся [2]. Аналогичные сведения есть и о животноводческих постройках, выполненных из разных материалов, где при прочих равных условиях (питание, содержание) привесы, продуктивность, болезни, падеж животных – существенно различные. По-видимому, на живые организмы воздействуют какие-то особые качества материалов, которые предлагаем назвать экологическими и дать им следующее определение: это такие свойства, недоучет которых может нанести ущерб живым организмам (например, ухудшить здоровье, работоспособность или психическое состояние человека). К ним можно отнести: цвет, запах, разного рода излучения и все виды полей.

Ещё В.И. Вернадский писал: “Излучает всё сущее в нашем мире, но живое способно изменять окружающие его поля, а неживое – нет”. Сейчас уже уверенно можно констатировать, что человечество начинает осваивать мир биоэнергетики [3]. Недавно Г.А. Сергеев изобрел прибор (Крымские известия, 09.02.96 г.), который позволил установить, что и человек оказывает энергетическое воздействие на окружающую среду. Это можно не только фиксировать, но и замедлять интенсивность. Надо полагать, что поскольку и материалы тоже имеют поля, излучающие энергию, естественно их взаимодействие, которое, очевидно, может быть как благоприятным, так и отрицательным. И это подтверждает практика: в одних помещениях хорошо живётся и работается, в других же плохо. Особый дискомфорт многие чувствуют в квартирах, построенных из новых строительных материалов: пластиковые “стенки”, ДВП и ДСП, пленки из синтетических смол, моющиеся и фотообои, искусственные ковровые покрытия, линолеум. Не безобиден и оргалит, в котором связующим веществом служат фениловые и карбомидно-меламиновые смолы, при разложении которых выделяются опасные для человека вещества.

Стены из бетона, шлакоблоков, полимербетона могут, как оказалось, являться источником повышенной радиации. К тому же эти материалы активно поглощают влагу воздуха, осушая его, что снижает комфортность помещений.

Чрезмерное увлечение электроприборами создаёт в квартирах своеобразный электросмог, который вызывает головную боль,

¹ Подробно каждая из перечисленных групп описана в [1].

стресс, аллергию, бессонницу и сердечную аритмию.

Есть ещё одно биоэнергетическое воздействие, порождаемое зелёными насаждениями: каждое дерево по-своему воздействует на человека. Народная мудрость гласит: «В березовом лесу – веселиться, в сосновом – молиться, в осиновом – удузиться». Близки к осине тополь и американский клен. Эти растения отбирают энергию человека и под их кронами многим становится неуютно: головная боль, плохое самочувствие, изменение давления.

Почему тяжело находиться в некоторых домах? Почему вдруг портится настроение, когда попадаешь в общество некоторых людей? Потому, что оказываемся в патогенных для нас зонах, полевые составляющие которых нарушают нашу ауру. Эти воздействия часто приводят к болезням.

Изучение и правильное использование экологических свойств находится пока в эмбриональном состоянии. Однако и нельзя утверждать, что о них ничего не было известно. У разных народов бытуют предания о том, что каждый человек имеет свои «счастливые» камни, растения и металлы. Современными методами установлено, что они, как и человек, имеют биополе. И если поле живого организма взаимодействует, например, с яшмой или тополем, он может подзарядиться энергией или отдавать свою отрицательную, оздоравливая себя [4]. Горные породы, а следовательно, и строительные материалы из них, имеют наведённое геополе. И когда оно верно учитывается, то для человека получаются более комфортные условия проживания, близкие к природным [5]. Например, правильно выполненные торцовые полы из древесины создают лучшие условия для пребывания людей по сравнению с обычными, уложенными плашмя досками. По той же причине покрывать древесину лаком не рекомендуется. Лучше её отполировать. При вертикальной установке досок, бревен, свай, брусьев надо, чтобы комлевая часть всегда была внизу, и соблюдалась ориентация по сторонам света. Эти же правила должны выполняться при укладке природных штучных каменных материалов. Наилучшее их воздействие,

когда в сооружении они установлены так, как находились в природных условиях. При таком способе строительства создаются условия в интерьере помещения, близкие к естественным в лесу или в горах.

Безусловным затруднением является необходимость соответствующей маркировки материалов у изготовителя и соблюдения их установки у исполнителя работ. Это несколько удорожает строительство, но окупается лучшим здоровьем людей и повышенной работоспособностью.

При пересадке деревьев также надо сохранять их бывшую ориентацию в пространстве. Тогда они менее болезненно перенесут передислокацию, лучше приживутся и разовьются на новом месте [6].

Если измельчённые горные породы, древесные опилки или стружки используют в качестве заполнителей, то поле этих материалов становится хаотичным, а при получении обжиговых и плавленых изделий совсем уничтожается. Все они менее предпочтительны по сравнению с правильно применёнными (без нарушения ориентации поля) природными материалами.

Из выявленных пока экологических свойств строительных материалов изучены и в наибольшей степени контролируются радиоактивные. Они могут обнаруживаться соответствующими приборами, и на них разработаны нормативы. Что касается таких свойств, как цвет и запах, то уже известно, что соответствующая окраска помещений повышает производительность труда до 20%, существенно снижает травматизм, может радовать или печалить, подавлять или улучшать аппетит, изменять артериальное давление, частоту пульса и температуру тела, действовать раздражающе или успокаивающе, а запахами можно усыпить, успокоить, сделать человека раздражительным, вконец испортить ему настроение и даже убить [7].

Многим известно, что вдыхание паров креозота, дёгтя и ряда синтетических смол вызывает тошноту, головокружение, слезотечение, аллергию, астму и другие заболевания. Все асбестосодержащие изделия, а также материалы на основе каменноугольных смол являются канцерогенными и дол-

жны быть исключены из практики строительства, как это сделано во многих странах [1].

Особую опасность для здоровья людей представляют геопатогенные зоны, в которых концентрируются неблагоприятные излучения. Строить в таких местах помещения, где длительно будут находиться люди, нельзя: они заболевают, и довольно часто врачи не могут определить причины и найти эффективное лечение. Удаление из этих зон всегда улучшает состояние. Не рекомендуется даже разрабатывать в них карьеры, заготавливать дрова и лес, пасти скот, заготавливать сено, собирать грибы и ягоды: они будут вредно воздействовать на человека. Не случайно такие места люди в старину называли «гиблыми». К сожалению, до сих пор ни земельные участки под жильё и производственные здания, ни карьеры, ни зоны отдыха предварительно не проверяются, хотя с помощью прибора «Демон» объединения «Фиолент» можно выполнять соответствующие обследования не только места будущего строительства или добычи камня, но и квартиры, дачи, санатории, учебные аудитории и другие необходимые помещения на предмет наличия геопатогенных зон, обусловленных излучением ядра земли через разломы земной коры. Этим прибором можно устанавливать и наличие опасных техногенных воздействий, определить водные подземные потоки, указать место для рытья колодцев, получить данные для составления карт вредных влияний. Однако узнать характеристики материалов, добытых из геопатогенных зон, им нельзя. Для этих целей необходим биолокатор, рамка или маятник. Такими приборами биолокации можно установить, правильно ли расположены метки на строительных элементах, полученных от поставщика.

Следует иметь в виду и то обстоятельство, что разные материалы не одинаково воздействуют на людей. Эта селективность должна учитываться при оформлении интерьеров комнат, где проживает или длительно находится тот или иной человек. Безусловно, есть и рекомендации общего характера. Например, гео- и технопатогенные зоны вредны всем людям. Практически каж-

дому человеку полезен донор №1 – дуб, а также береза и сосна. Но тополь и осина – противопоказаны.

Приходится сожалеть, что в настоящее время совершенно не учитывается расположение и ориентация по частям света рабочих мест, зон отдыха, операционных и массажных столов, учебных аудиторий, что существенно влияет на качество выполняемых процессов. Многие считают это мелочами. Но из них состоит вся жизнь, которая для людей становится все короче, а основной причиной является отсутствие гармонии с природой, которую сам же человек загрязняет и уничтожает, не умея, а порой и не желая использовать её благотворное влияние. Поэтому вся система жизни и деятельности людей должна быть пересмотрена с учётом современных знаний и позиций научно-технического прогресса, когда ещё не проявленное и невидимое воплощается в жизнь и пробивает себе дорогу.

Биологический потенциал продолжительности жизни нынешнего человека составляет 120-140 лет. Но есть и рекордсмены. Например, доктор Ли (Китай), проживший 256 лет. Из Писания известны данные о том, что святые умирали в возрасте 700-1200 лет. Они жили в полной гармонии с природой и нравственностью, в благоприятной экологической обстановке, что современные люди утратили. Отдельные деревья произрастали на земле до 15 тысяч лет. Сейчас самое старое дерево нашей планеты драцена (на Канарских островах). Ей более 8 тысяч лет. В Сенегале баобабы живут около 6 тысяч лет, а остистая сосна в США достигла возраста 4900 лет. Эти деревья также произрастают в благоприятных для них условиях. Известно, что чем старше дерево, тем оно благоприятнее для применения в строительстве: у него сильное и устойчивое биополе, которое при умелом использовании оказывает благоприятное воздействие на человека.

В Германии, где синтетические материалы с начала 30-годов получили наибольшее применение и распространение, был построен экспериментальный дом, все элементы которого и мебель были выполнены из пластмасс. Широко разрекламированное

строение оказалось не пригодным для длительного пребывания человека. А вот благоустроенные пещеры, облагороженные современной отделкой, естественными строительными материалами, являются не только комфортными для пребывания людей, но модными и дорогостоящими жилищами.

Количество подобных примеров и рекомендаций можно продолжить. Однако и приведённые свидетельствуют о необходимости и целесообразности включения экологических свойств материалов в общую классификацию, что безусловно, вызовет необходимость их дальнейшего, более углубленного изучения, а также рационального практического использования. Возможно, обнаружатся и другие воздействия материалов на живые организмы, о которых и не подозреваем. Так было, например, с рентгеновскими и радиоактивными излучениями, с влиянием неумовных человеком запахов и биополей. Уже доказано существование людей и материалов-«вампиров» и «доноров», которые отнимают энергию у человека или «подзаряжают» его. Знание же и правильное использование экологических свойств материалов позволит создавать в помещениях условия, максимально приближенные к природным, что с учётом индивидуальных особенностей людей будет способствовать обеспечению их более благоприятной среды обитания.

ВЫВОДЫ

Для отработки и проверки накопленных сведений, а также соответствующего их использования в практике строительства, по-нашему мнению, целесообразно осуществить следующие мероприятия:

1. Создать Проблемную лабораторию испытаний экологических свойств материалов (ПЛИЭСМ) и открыть при ней школу подготовки операторов биолокации;
2. Организовать при ПЛИЭСМ бюро по выполнению проектов и заказов, исходя из достижений современной науки и разработок лаборатории;
3. Ввести в программу обучения студентов всех строительных специальностей вузов, техникумов и ПТУ достижения в области экологических свойств материалов и в целом – экологизации строительства.

Без этого весьма трудно сдвинуть с прежних позиций всю систему современного строительства, устранить в ней косность и старорежимность с целью обеспечения жизни человека в более тесной гармонии с природой, эффективно используя её положительное влияние на людей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шмигальский В.Н. О неучитываемом свойстве строительных материалов и новом классе добавок. – Строительство и техногенная безопасность /Сб. науч. трудов Крымский институт природоохранного и курортного строительства. - Симферополь:Таврия,1999.- С.142-149.
2. Шмигальский В.Н. Влияние цвета и запаха на человека //Природа.-1997.-№1-2.-С.32-35.
3. Тэд Эндрю. Искусство видеть и толковать ауру:Пер. с англ.-М.:Центр астрологических исследований.-1998.- 160 с.
4. Грабовой И.И. Друидотерапия. -Симферополь: Таврия-Плюс, 1999. - 192 с.
5. Грабовой І.І. Спосіб будівництва споруд. - Патент України №94096962 от 21.08.98 р.
6. Грабовой І.І. Спосіб формування крони дерев.- Патент України №98094727 от 08.09.98 р.
7. Шмигальский В.Н. Целительные цвета и запахи. - Вестник физиотерапии и курортологии. - Евпатория:»ВИ-ЗЕН», 1996.-№3.-С.34-36.

Раздел 6. Водообеспечение и водоотведение, гидромелиорация, теплоснабжение и энергетика

УДК 621.314.1-621.314.26

Э.А. Бекиров

Крымская академия природоохранного и курортного строительства

Методы построения преобразователей энергии постоянного тока нетрадиционных источников в электрическую энергию переменного тока промышленной частоты с подключением в энергосистему

Рассматриваются методы построения преобразователей энергии постоянного тока нетрадиционных источников энергии переменного синусоидального и квазисинусоидального тока промышленной частоты и подключение этого синусоидального напряжения в энергосистему с согласованием по частоте и фазе с напряжением питающей сети.

импульсный стабилизатор напряжения, синхронизация, квантования по уровню, дискретизация по времени, усилитель мощности, задающий генератор, широтно-импульсный модулятор, инвертор.

В условиях ограниченного запаса топливно-энергетических ресурсов имеет первостепенное значение использование нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. Особенно актуальным это является для Крыма, где наиболее благоприятным по природным параметрам является использование энергии ветра и гелиоэнергетики.

Важной задачей является принцип построения прямого преобразования солнечной энергии в электрическую энергию переменного тока и разработка преобразователей постоянного тока от солнечных элементов в переменный синусоидальный ток.

Современная тенденция развития нетрадиционных источников энергии позволяет в большинстве случаев автономное использование их в народном хозяйстве. При дорогих энергоресурсах, когда топливные энергоресурсы находятся в отдаленных местах, транспортировка их и доставка усложнены, ограниченность энергетического потенциала, приводит к разработке и созданию новых источников электрической энергии. Важное место в данном случае имеет использование нетрадиционных источников и преобразование их энергии в энергию электрическую с дальнейшим преобразованием в напряжение синусоидальной формы с целью включения в единую энергосистему государства.

В настоящее время все возрастающее применение нетрадиционных источников энергии приводит к тому, что автономно используемые источники необходимо подключать к потребителям, работающим на переменном токе промышленной частоты. Нетрадиционные источники, использующие солнечную энергию (солнечные фотоэлементы), преобразуют солнечную энергию в электрическую энергию посто-

янного тока. Как известно, до 95% электроустановок работают на переменном токе промышленной частоты, равной 50 Гц. Поэтому одной из актуальных задач является преобразование энергии постоянного тока нетрадиционных источников в синусоидальный переменный ток, и использование его как в автономных условиях, так и подключение в сеть переменного тока промышленной частоты – генерирование электрической энергии.

В системах электроснабжения автономных объектов в качестве первичных источников могут быть использованы солнечные батареи. Мощность солнечных батарей, выпускаемых различными фирмами, лежит в пределах от 50 Вт до 1 кВт при номинальной освещенности. Соответствующим набором фотоэлементов мощность солнечных батарей можно увеличивать. Солнечные батареи характеризуются большим диапазоном изменения выходных параметров – напряжения и тока, в зависимости от изменения освещенности.

Современные преобразовательные устройства, предназначенные для преобразования напряжения постоянного тока от нетрадиционных источников (солнечных батарей) в электрическую энергию требуемого качества и выходного синусоидального напряжения, должны обеспечивать высокую точность преобразования, требуют регулирования выходных параметров – напряжения или тока в широких пределах, необходимость глубокого регулирования при постоянстве отдаваемой в нагрузку мощности, должны характеризоваться высокими энергетическими и надежностными показателями.

Разработано устройство для преобразования постоянного тока нетрадиционного источ-

лителя постоянного напряжения – УПН, LC – фильтра –Ф.

Генератор – 3Г является задающим для работы схемы преобразователя и стабилизатора. Он вырабатывает импульсы треугольной формы для управления работой ШИМ и импульсы прямоугольной формы, управляющие работой сумматора - $\Sigma 1$. Генератор – 3Г собран на микросхеме, в состав которой входят два операционных усилителя, реализован на микросхеме К140УД5 (зарубежный аналог LM358). Первый операционный усилитель выполняет роль интегратора, а второй – компаратора. Компаратор преобразует треугольные импульсы в прямоугольные. Коэффициент передачи компаратора как коэффициент инвертирующего усилителя $K_u = 2,1$. Диаграмма работы стабилизатора представлена на рис.3.

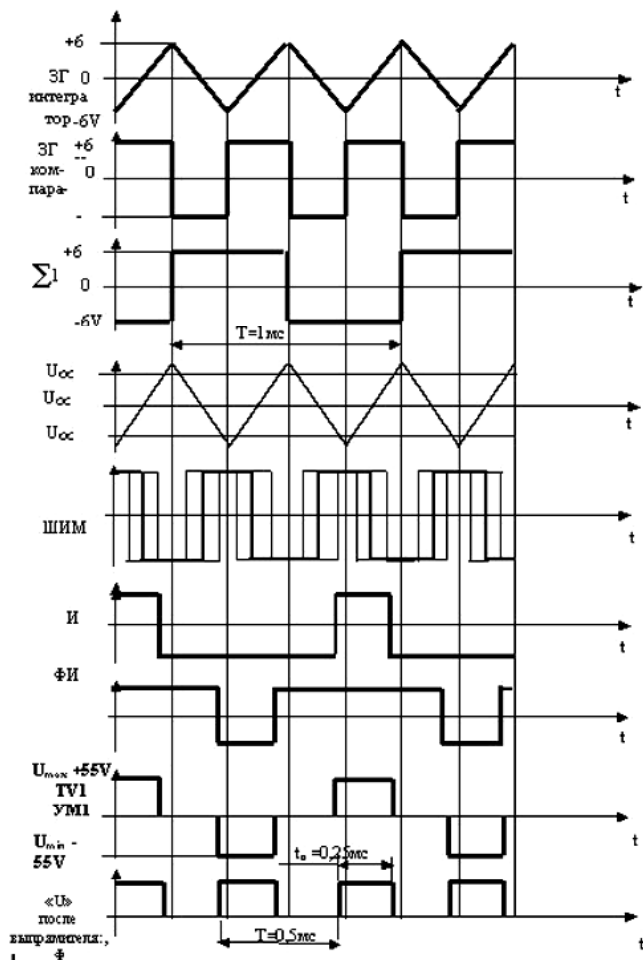


Рис.3. Диаграмма работы стабилизатора.

При переходе через «0» треугольных импульсов фиксирует компаратор, управляющий зарядом и разрядом конденсатора в цепи обратной связи интегратора.

Напряжение обратной связи $U_{oc} = 15 \text{ В}$ и частотой 50 Гц поступает с выходного трансформатора ППНП на преобразователь сигнала обратной связи и на устройство сравнения – УС1. Это напряжение выпрямляется, фильтруется и используется для питания операционного усилителя – ОУ и светодиода оптронного преобразователя, который развязывает различные источники питания, то есть выпрямленное напряжение обратной связи и питание генератора – 3Г, сумматора - $\Sigma 1$ и ШИМ (рис.2). Напряжение обратной связи сравнивается с эталонным напряжением, которое получается на параметрическом стабилизаторе напряжения. Напряжение заданного источника и нестабильное напряжение компаратора сравниваются, их алгебраическая сумма передается на выход ШИМ с коэффициентом передачи $K_{ишм} \approx 2,6$.

Сформированный сигнал обратной связи через оптронную развязку поступает в ШИМ через эмиттерный повторитель, предназначенный для согласования высокого выходного сопротивления оптронного преобразователя с низким входным сопротивлением делителя напряжения обратной связи на входе ШИМ. На выходе ШИМ (рис. 3) присутствуют импульсы, повторяющиеся каждый полупериод напряжения преобразователя импульсного стабилизатора напряжения. Ширина этих импульсов зависит от напряжения обратной связи.

С выхода 3Г прямоугольные импульсы (см.рис. 3), период следования которых равен половине периода сигнала преобразователя постоянного напряжения импульсного стабилизатора в импульсное, поступают на вход $\Sigma 1$ делителя на 2, собранного на D триггере, включенного в режиме делителя на два, на выходе $\Sigma 1$ которого имеем импульсы, частота следования последних равна частоте преобразователя ИСН. На первый вход инвертора И поступают импульсы, следующие с частотой преобразования преобразователя импульсного стабилизатора. На второй вход И поступают импульсы с ШИМ отрицательной полярности. Если на первом входе И присутствует «0», то каждые полпериода на выходе И появляются положительные импульсы, ранее модулированные по ширине, которые поступают на усилитель импульсов положительной полярности УПН. При

наличии сигнала «1» на выходе $\Sigma 1$ на выходе И присутствует «0», который дает разрешение для прохождения широтно – модулированных импульсов положительной полярности, поступающие после инвертирования ФИ на усилитель отрицательных импульсов ППНП импульсного стабилизатора.

Усилитель мощности УМ1 выполнен на транзисторах разной проводимости по схеме полумостового инвертора с развязывающим трансформатором.

При поступлении положительного импульса транзисторы открываются и по обмотке трансформатора протекает ток положительной полуволны ИСН. При поступлении отрицательного импульса открывается другая пара транзисторов и через обмотку трансформатора протекает ток в направлении, противоположном предыдущему. Следовательно, трансформатор работает в двухтактном режиме. Вторичная обмотка трансформатора подключена к схеме двухполупериодного выпрямителя со средней точкой. Выпрямитель собран по мостовой схеме на импульсных диодах 2Д213А. Выпрямленное напряжение подается на LC – фильтр.

ППНП состоит из квадратурного генератора – регулируемого фазовращателя – КГ – РФ, цепи стабилизации амплитуды – ЦСА, фазосдвигающей цепи – ФЦ, усилителя мощности – УМ2, отрицательной обратной связи – ООС, фазоинверсного каскада – ФИК, устройство управления импульсным стабилизатором напряжения – УУИСН, трансформатора – TV1.

Квадратурный генератор КГ – РФ синусоидального напряжения и частоты $50 \pm 5\text{Гц}$ с возможностью изменения частоты вручную от 45 до 55Гц. Регулируемый фазовращатель РФ вносит сдвиг фазы сигнала. С выхода фазовращателя сигнала поступает на цепь стабилизации амплитуды – ЦСА, компенсирующую влияние таких дестабилизирующих факторов, как температура и неидеальность параметров операционного усилителя ОУ. На операционном усилителе собран инвертирующий усилитель. Вносимый им сдвиг фазы постоянен и равен 180° . Таким образом, общий сдвиг фазы в генераторе равен 360° , а значит выполняется основное условие генераций – баланс фаз. Выход генератора поступает на устройство синхронизации. УМ2 состоит из фазоинверсного каскада, собран

на составных транзисторах различной проводимости по схеме полумостовых инверторов. Транзисторы нагружены на первичную обмотку трансформатора. На вторичной обмотке II имеем напряжение $\geq 220\text{В}$ и частотой $50 \pm 5\text{Гц}$, а также напряжение с обмотки III для управления ИСН.

Напряжение с выхода устройства синхронизации – выход генератора для синхронизации с сетью по частоте или напряжение синхронное с сетью после синхронизации частоты генератора с частотой сети, поступает на регуляторы выходного напряжения усилителя мощности – УМ2.

Блок синхронизации содержит: устройство сравнения – УС2, устройство управления блоком синхронизации – УУБС, формирователь импульсов из сети – ФИ, формирователь сигналов синхронизированных по частоте – ФСС, дешифратор – Д, а также реле коммутации – Р, работающее в режиме «автоматическое» или «ручное».

Питание БС осуществляется от сети переменного напряжения 220В через трансформатор, со вторичной обмотки которого переменное напряжение выпрямляется, фильтруется и стабилизируется параметрическим стабилизатором. Нестабилизированное напряжение поступает для сравнения с напряжением выхода преобразователя ППНП.

Сигнал синхронизации по частоте формируется следующим образом: напряжение сети через УУ БС поступает на обмотку суммирующего трансформатора БС. На другую обмотку поступает напряжение с обмотки обратной связи УМ2 ППНП. На третьей обмотке суммирующего трансформатора получаем напряжение, частота которой промодулирована разностью этих частот, в результате имеем пульсирующее напряжение разности частот сети и преобразователя, визуально наблюдаемое по пульсирующему свечению светодиодного индикатора в цепи УУ. Это и есть «нулевые биения». Чем ниже частота пульсаций светодиодного индикатора, тем ближе эти частоты.

Формирователь импульсов ФИ состоит из параметрического стабилизатора, синхронизатора и формирователя импульсов – генератора счетных импульсов. На вход счетчика поступают счетные импульсы, период следования которых равен 2мс. На выходе дешифратора Д появ-

ляется «1» только тогда, когда на вход счетчика поступили 5000 импульсов. Если счетчик отсчитывает больше 5000 импульсов, с генератора счетных импульсов пройдет больше 10с, т.к. $2\text{мс} \times 5000 = 10\text{с}$.

Следовательно, частота «нулевых биений» меньше 0,1 Гц и точность сравнения $\leq 0,1\text{Гц}$. Если импульс установки в «0» счетчика будет приходить чаще, чем 0,1 Гц, то счетчик не будет досчитывать до 5000 импульсов и на входе дешифратора не будет появляться «1».

Реле Р своими контактами переключает УМ2 ППНП на синхронное с сетью напряжение. При напряжении $\geq 220\text{В}$ Р своими контактами включает выход УМ2 ППНП к сети переменного напряжения.

Разработан преобразователь постоянного напряжения в квазисинусоидальное напряжение частотой 50Гц.

На рис. 4 представлена блок-схема преобразователя постоянного напряжения нетрадиционного источника в переменное квазисинусоидальное напряжение [ПKN] с возможностью подключения преобразователя в энергосистему промышленной сети переменного тока частотой 50 Гц.

ПKN содержит: формирователь прямоугольных импульсов из сети – ФИС, устройства гальванической развязки – УГР1, умножитель частоты – УЧ, узел синхронизации с сетью – УСС, узел квантования по времени при формировании квазисинусоидального сигнала – УКВ, коммутатор полупериодов квазисинусоидального сигнала с частотой сети – К, усилитель мощности – УМ1, силовой трансформатор – TV3, формирователь прямоугольных импульсов преобразователя – ФИП, устройство гальванической развязки – УГР2, узел контроля фазировки – УКФ, устройство контроля напряжения – УКН, предварительный стабилизатор – ПС, схема управления импульсного стабилизатора напряжения – УУ ИСН, устройство токовой защиты – УТЗ, усилитель мощности УМ2, силовой трансформатор – TV2, узел квантования по уровням – УКУ.

Напряжение постоянного тока с нетрадиционного источника поступает на предварительный стабилизатор. Стабилизированное биполярное напряжение поступает на импульсный стабилизатор постоянного напряжения (рис.5.)

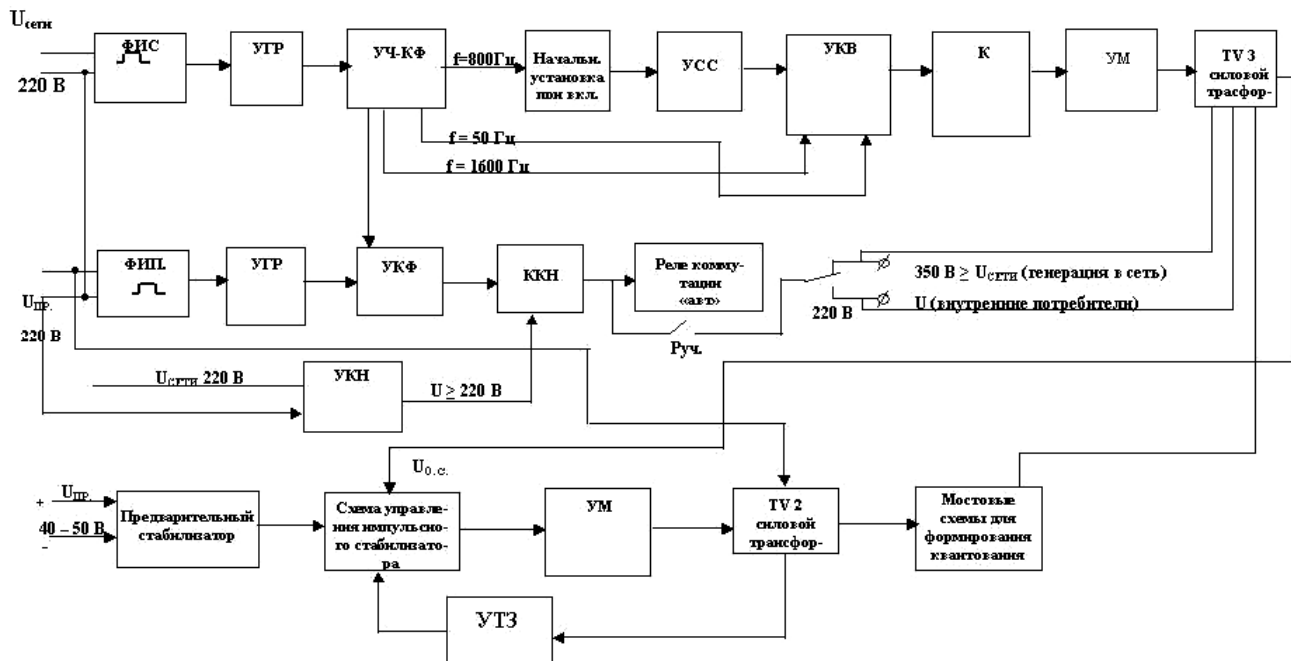


Рис.4. Блок-схема ПKN.

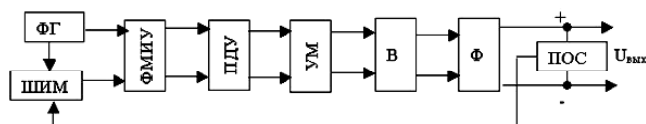


Рис.5. Блок-схема ИСН.

ИСН состоит из функционального генератора – ФГ, фазоинвертора – формирователя модулированных импульсов управления – предварительного двухтранзисторного усилителя, усилителя мощности выходного инвертора УМ2, выпрямителя, фильтра преобразователя обратной связи, широтно-импульсного модулятора.

Функциональный генератор ФГ является замкнутой релаксационной системой, состоящей из интегратора и компаратора. ФГ является задающим для работы схемы преобразователя и стабилизатора. Он вырабатывает импульсы треугольной формы для управления работой сумматора и импульсы прямоугольной формы, управляющие работой сумматора. Преобразователь постоянного напряжения в квазисинусоидальное напряжение предусматривает устройство контроля по превышению напряжения [3], устройство токовой защиты. Преобразованное напряжение с помощью квантования по времени и квантования по уровню представляется в виде квазисинусоидального напряжения, которое затем синхронизируется с сетевым напряжением и использованием блока синхронизации [4,5,7,9]. Данный преобразователь постоянного напряжения в квазисинусоидальное напряжение обладает рядом преимуществ по сравнению с рассмотренным ранее преобразователем постоянного напряжения в синусоидальное напряжение. Предложенные и реализованные в преобразователе генератор синусоидального напряжения [8] и инвертор квазисинусоидального напряжения [6] позволили повысить к.п.д. устройства и при неизменной схеме управления формирования квазисинусоидального напряжения использовать в выходном каскаде УМ более мощные транзисторы, что позволяет получать выходную мощность 1кВт и выше. На устройства, генераторы, инверторы получены патенты Украины на изобретения.

Разработанные преобразователи постоянного напряжения нетрадиционных источников энергии позволяют получить переменное синусоидальное напряжение частотой 50 Гц, и в переменное квазисинусоидальное напряжение промышленной частоты с возможностью подключения его в единую энергетическую систему с согласованием по частоте и фазе с напряжением сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент Украины №54292А. Импульсный стабилизатор постоянного напряжения. Бекиров Э. А., Масликов А. Д., 2003г, Бюллетень №2. G 05 F 1/56; H02M 3/335; h02 M7/00.
2. Патент Украины № 55943А. Генератор синусоидального напряжения. Бекиров Э. А., Масликов А. Д., Бюлетень ВАК України. - 2003. - № 4. – H03 B 5/00.
3. Патент Украины №56050А. Устройство контроля напряжения. Бекиров Э. А., Бюлетень ВАК України. - 2003. - № 4. H01 n5/30
4. Патент Украины №56708А. Устройство синхронизации генератора с сетью по напряжению и частоте. Бекиров Э. А., Масликов А. Д., Бюлетень ВАК України. - 2003. - № 5. H02 M1/08.
5. Патент Украины №56709. Способ синхронизации генератора по напряжению и частоте. Бекиров Э. А., Масликов А. Д., Бюлетень ВАК України. - 2003. - № 5. H02 M1/08.
6. Патент Украины №57451А. Инвертор квазисинусоидального напряжения. Бекиров Э. А., Бюлетень ВАК України. - 2003. - № 6. H02 M7/5395.
7. Патент Украины №57395А. Способ Бекирова синхронизации генератора с сетью по частоте. Бекиров Э. А., Бюлетень ВАК України. - 2003. - № 6. H02 M1/08.
8. Патент Украины №57401А. Генератор синусоидального напряжения, синхронизированный с сетью переменного тока. Бюлетень ВАК України. - 2003. - № 6. H02 M7/48.
9. Патент Украины №57381А. Устройство синхронизации генератора с сетью по частоте. Бекиров Э. А., Бюлетень ВАК України. - 2003. - № 6. H02 M1/08.

С.Д. Бойчук, Э.Н. Синанов

Симферопольское производственное предприятие водопроводно-канализационного хозяйства

В.А. Мякишев, Н.С. Крымова, А.М. Копачевский

Крымская академия природоохранного и курортного строительства

Пути сокращения расходов воды на собственные нужды городских водоочистных сооружений

На примере водоочистной станции гидроузла «Межгорное» проверена технология обработки осадков отстойников и грязных промывных вод в прудах-накопителях и повторного использования их в основном процессе подготовки питьевых вод.

технологические сбросы, сокращение потерь воды, загрязнения промывных вод, обработка осадков, обезвоживание, платежи

Уменьшение забора природной воды из источников на собственные нужды городских водопроводов, предотвращение сброса воды в природные водоёмы с технологическими осадками сооружений подготовки питьевой воды является сложной экологической и экономической проблемой. Объем осадков водопроводных очистных сооружений (ВОС) может достигать 18 % от общего количества очищаемой воды и, например, в Симферополе они составляют в зависимости от времени года 0,43...0,92 млн. м³ в месяц. Отходы ВОС представляют собой осадки из отстойных сооружений, грязные промывные воды фильтров и другие технологические сточные воды. Большая концентрация взвешенных веществ, повышенное содержание органических и хлорорганических соединений, наличие гидроксидов алюминия или железа делают отходы водоочистки экологически опасными и непригодными для сброса в природные источники без предварительной обработки [1].

На многих водоочистных комплексах предусмотрено повторное использование промывных вод фильтров путем их возврата в трубопровод сырой воды (в «голову» сооружений). Однако опыт эксплуатации водопроводных станций показывает, что в ряде случаев возврат не осветленных промывных вод ухудшает технологический процесс водоочистки: снижается эффективность работы отстойников (коридорных осветлителей), повышается грязевая нагрузка на фильтры, увеличивается концентрация остаточного алюминия и органических веществ в фильтрате.

Осадки из отстойных сооружений до последнего времени обрабатывали в естественных

условиях на иловых площадках, но такая технология малоэффективна. После переполнения они становятся опасными источниками загрязнения. На иловых площадках происходит более активное обезвоживание осадка за счет испарения с поверхности и фильтрации через дренажные устройства. Основной недостаток иловых площадок – низкая гидравлическая нагрузка и, как следствие, отчуждение значительных земельных площадей [2]. По этой причине водопроводные предприятия несут большие непроизводительные финансовые затраты, которые подразделяются по статьям следующим образом:

- платежи за забор воды из природного источника, сбрасываемой с осадками (более 30 тыс. грн. в год при производительности ВОС 255 тыс. м³/сут.);
- платежи за сброс загрязняющих веществ с осадками отстойников и промывными водами фильтров в водоёмы, если на ВОС не работают сооружения по обработке промывных вод;
- эксплуатационные затраты, связанные с очисткой объёма воды, который в последствии сбрасывают с осадками отстойников и промывными водами фильтров;
- отчисления в бюджет и различные фонды, связанные с вышеперечисленными платежами и производственными затратами [3].

Новым экономически выгодным и технологически обоснованным решением является внедрение схемы повторного использования промывных вод скорых фильтров и осадков горизонтальных отстойников на водоочистных сооружениях «Межгорное» Симферопольского водоканала.

В проекте ВОС предусматривалось грязные промывные воды 12-ти, постоянно работающих скорых фильтров, в количестве 143...195 тыс. м³ в месяц отводить в резервуар-усреднитель. Однако возврат промывных вод из резервуара-усреднителя в смеситель ВОС значительно увеличивает загрязненность смеси их с исходной водой, органическими веществами, солями алюминия, ионами тяжелых металлов и другими опасными для здоровья человека ингредиентами.

Анализ состава грязных промывных вод скорых фильтров показал, что содержание взвешенных веществ в них в среднем составляет 97...136 мг/л. Всего за год на ВОС образуется до 420 тонн загрязнений по сухому веществу, которые сбрасывают в пруды накопители с осадками отстойников и грязными промывными водами фильтров. Концентрация взвешенных веществ в смеси этих вод достигает 1970 мг/л. Осадки из горизонтальных отстойников в количестве от 78 до 272 тыс. м³ в месяц сбрасывают непосредственно в пруды-накопители. Технологические сбросы станции имеют влажность до 99,9 %.

В реализованной схеме (рис. 1) осветленные в прудах-накопителях сбрасываемые осадки ВОС насосами равномерно перекачиваются в общий смеситель для дальнейшей очистки. Эффективность очистки воды в прудах-накопителях при продолжительности отстаивания 4...7 суток составляет 94...99 % по взвешенным веществам. Возврат на очистные сооружения воды с мутностью 3...7 мг/л не вызывает повышение содержания остаточного алюминия и перманганатной окисляемости очищенной питьевой воды. Соотношение возвращаемой из пруда-накопителя отстоянной воды и исходной воды из водохранилища составляет примерно 1:11, что позволяет на 9 % сократить забор природной воды из водохранилища «Межгорное».

На следующем этапе была разработана технологическая схема возврата и обработки сбросных вод ВОС с целью использования их при промывке скорых фильтров и на другие технологические нужды. В ней, возвращенные после предварительного осветления в прудах-накопителях промывные воды фильтров и осадки отстойников, можно направлять на собственные нужды ВОС (полив зеленых насаждений, приготовление растворов реагентов, мытье емкостных сооружений).

Для обезвреживания осадков с большим содержанием взвешенных и органических примесей все более широкое применение находят методы реагентного и механического обезвреживания осадков очистных сооружений с использованием центрифуг, фильтр-прессов и вакуум-фильтров. Эффективность их работы во многом определяется свойствами водопроводного осадка и количеством добавляемого реагента. Наиболее эффективными реагентами являются высокомолекулярные флокулянты или строительная известь, дозы которой могут достигать 100 % по СаО от массы сухого вещества в обрабатываемом осадке [4].

Интенсифицировать процесс обезвреживания осадка в механических аппаратах и сократить необходимое количество вводимой извести можно за счет внесения в осадок флокулянтов и малоценных присадочных материалов (золы – унос от сжигания торфа, угля и сланцев, бентонитовых глин, диатомита, перлита, опилок и др.).

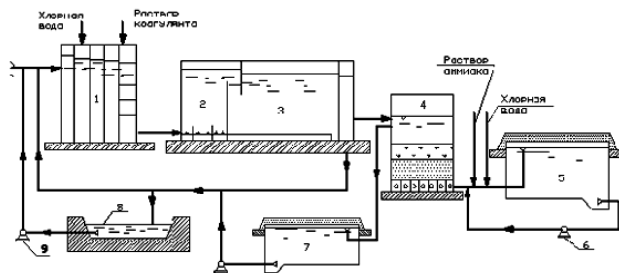


Рис.1. Технологическая схема обработки осадка на ВОС «Межгорное»

1 – контактная камера и смеситель; 2 – камера хлопьеобразования; 3 – горизонтальный отстойник; 4 – скорый фильтр; 5 – резервуар чистой воды; 6 – насосная станция второго подъема; 7 – сооружения повторного использования грязных промывных вод; 8 – пруд-накопитель; 9 – насосы возврата осветленной воды на водоочистную станцию.

Совместное использование вспомогательных веществ и флокулянтов позволяет полностью отказаться от применения извести.

Метод центрифугирования осадка чаще применяется при обработке осадков сточных вод химической, пищевой промышленности. Однако большие затраты электроэнергии, отсутствие массового производственного опыта по снижению влажности осадков ВОС на центрифугах,

по обработке фугата и использованию кека сдерживает практическое внедрение центрифуг.

Осадок отстойников ВОС получается мелкодисперсным (65...70 % частиц с диаметром меньше 0,05 мм) и с высокой влажностью (более 99 %), он также характеризуется относительно хорошей водоотдачей ($280...590 \times 10^{-10}$ см/г). При гравитационном реагентном уплотнении влажность исходного осадка снижается до 96...97,9 %. Введение сернокислого алюминия ухудшает водоотдающие свойства осадков. Добавление полиакриламида и извести, а также медленное механическое перемешивание интенсифицируют процесс его уплотнения.

Сравнительная оценка различных технологий обезвоживания осадков в горизонтальных отстойниках показана на рис. 2. Применение фильтр-прессов, вакуум-фильтров уменьшает влажность осадка до 72...74 %, и позволяет его транспортировать к местам захоронения или утилизации. Однако фильтр-прессованием или вакуум-фильтрацией можно проводить эффективное обезвоживание только после обработки осадка известью или другим реагентами. Минимальная доза извести составляет от 10 до 74 % CaO от массы сухого вещества в осадке. Применение центрифугирования позволяет снижать влажность осадка до 65...74 % без применения каких-либо реагентов [5].

Одним из способов повышения эффективности работы сооружений по обработке промывных вод фильтров является также дооборудование шламоуплотнителей тонкослойными блоками или устройством в них рециркуляторов.

Для сокращения потерь воды с технологическими сбросами, и связанных с этим денежных затрат, важно установить причины сверхнормативного образования грязных вод на ВОС и наметить пути уменьшения их количества. По строительным нормам на очистных сооружениях с повторным использованием промывной воды разрешается использовать на собственные нужды до 4 % воды от общей производительности станции, а на ВОС без повторного использования промывных вод фильтров – 10...14 %.

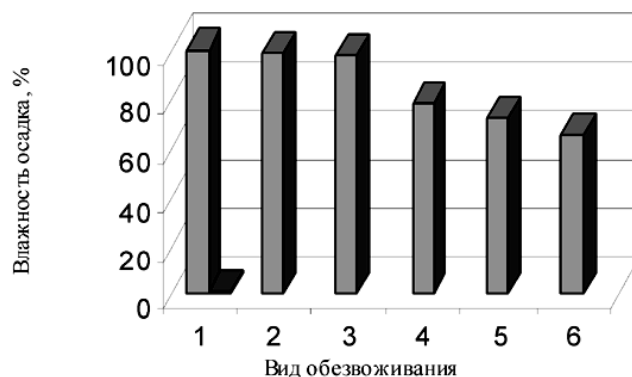


Рис. 2. Влажность осадка ВОС после различных видов обезвоживания

1 - исходный осадок без обработки; 2 - гравитационное осаживание; 3 - добавление извести и отстаивание; 4 - фильтр-прессование; 5 - вакуум-фильтрация; 6 - центрифугирование

При санитарной обработке и опорожнении ёмкостных сооружений, а также из-за утечек через водопроводную арматуру дополнительно теряется до 0,5...1,8 % воды от производительности ВОС. Фактические суммарные потери достигают 20 % забираемой исходной воды.

Решающее влияние на объём потерь воды также оказывают оснащённость станции средствами автоматизации и учёта расходов воды на каждом сооружении технологической цепочки, уровень эксплуатации и своевременность капитального ремонта оборудования ВОС.

Основные приёмы снижения расходов воды на собственные нужды станции и сброса их в водоисточники заключаются в следующем:

- на стадии проектирования и при эксплуатации ВОС (если позволяют мутность и цветность исходной воды) следует заменять методы объёмного коагулирования и задержания загрязнений воды в отстойниках на «контактную коагуляцию» в фильтровальных сооружениях. Двухступенчатое или трёхступенчатое фильтрование с применением фильтрующих загрузок с повышенной грязеемкостью позволяет при очистке воды с мутностью до 40...60 мг/л отказаться от сооружений отстойного типа, а также сократить объём воды на собственные нужды станции осадков до 3...4 % от суточной производительности;

- внедрение высокомолекулярных коагулянтов катионного типа, оксихлорида алюминия, железосодержащих коагулянтов или коагулянтно-флокулянтов позволяет не только увеличить производительность ВОС и эффект очистки от органосодержащих загрязнений, но одновременно сократить объём осадков за счёт образования более тяжелых хлопьев и интенсификации отстаивания и более плотных осадков в порах загрузки скорых фильтров;
- скорые фильтры второй ступени очистки воды технологически целесообразнее и экономически выгоднее загружать фильтрующими материалами с большей пористостью, развитой поверхностью зёрен и повышенной грязеемкостью (цеолит, антрацит, керамзит, гранит, туф). Сорбционно-активные фильтрующие загрузки значительно увеличивают очищающую способность вводимых в воду реагентов и ускоряют процесс окисления задерживаемых в фильтре органических веществ. В этом заключается преимущество фильтрационных методов очистки воды перед отстойными;
- обработку и уплотнение осадков из отстойников и резервуаров промывных вод в типовых технологических схемах предлагается проводить реагентными методами на специальном оборудовании (сгустители осадков, центрифуги, вакуум-фильтры, пресс-фильтры);
- на ВОС, оснащённых средствами КИП, действуют многоступенчатые системы учета расходов воды, контроля и автоматического регулирования всех технологических процессов. На практике сбор и анализ многочисленных количественных и качественных показателей обрабатываемой воды производится электронно-вычислительными машинами. Современное программное обеспечение технологии обработки воды позволяет практически моментально получать информацию о параметрах технологического режима и рекомендации для оптимизации основных процессов на стадиях ввода реагентов, их смешивания с водой, отстаивания, фильтрования, обеззараживания, распределения потоков воды, а также сократить экс-

плуатационные затраты ВОС. Расходы на внедрение таких компьютерных программ окупаются в срок до полугода.

Такие технологические приёмы, как правило, не требуют значительных капитальных вложений, дают экономию эксплуатационных затрат и направлены на повышение барьерной роли ВОС в отношении большинства загрязняющих днепровскую воду веществ.

ВЫВОДЫ

1. Достигнута высокая экономическая и технологическая эффективность внедрения на гидроузле «Межгорное» Симферопольского «Водоканала» метода отстаивания осадков горизонтальных отстойников и грязных промывных вод скорых фильтров в прудах-накопителях, а также последующего равномерного возврата их на очистные сооружения для использования в технологии подготовки питьевой воды. Данный технологический прием обработки ранее сбрасываемых в водоёмы грязных промывных вод и осадков горизонтальных отстойников позволяет уменьшить забор воды из природных источников на 8...11 % и значительно сократить эксплуатационные затраты на очистку воды.
2. Обезвоживание осадка водопроводной станции центрифугированием является наиболее экономичным методом, выполняемым без реагентной предобработки и исключаям строительство дорогостоящего реагентного хозяйства.
3. В дальнейшем планируется полнее проанализировать процессы и обобщить опыт обработки технологических сбросов водоочистной станции с помощью прудов-накопителей с поэтапным отстаиванием, контактным хлопьеобразованием и рециркуляцией осадка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений. Том 3. «Очистка и кондиционирование природных вод». Вологодский ГТУ.: - Москва-Вологда, 2001.
2. Любарский В.М. Осадки природных вод. Стройиздат.: - М., 1980.
3. Говорова Ж.М. Обработка промывных вод и осадков водоочистных станций. Обзорная информация. ВНИИ информации в строительстве.: - М., 2001.
4. Справочное пособие к СНиП 2.04.02-84. «Проектирование сооружений для обезвоживания осадков очистки природных вод». Стройиздат.: - М., 1990.
5. Лазарев В.В., Гнедов Д.И. Обезвоживание осадков водоочистных станций. ЦНИИ Комплексного использования водных ресурсов.: - Кишинев, 1990.

Б.И. Боровский, Р.Ю. Захаров

Крымская академия природоохранного и курортного строительства

Методика расчета рабочих характеристик центробежного насоса с обточенным рабочим колесом

Предложена методика определения диаметра обточенного рабочего колеса и рабочих характеристик центробежного насоса с обточенным рабочим колесом при известных характеристиках насоса для двух диаметров колеса.

расчетная точка, настройка насоса на заданный режим, обточка рабочего колеса, парабола подобных режимов, центробежный насос, рабочие характеристики, оросительная насосная станция, снижение энергозатрат, повышение экологической надежности

Подбор марки центробежного насоса осуществляется по расчетным (заданным) значениям подачи Q_p и напора H_p . Расчетная точка с координатами Q_p и H_p не всегда попадает на напорную характеристику насоса при известном диаметре рабочего колеса. Для обеспечения при работе насоса расчетных (заданных) значений подачи и напора необходимо проводить настройку насоса на заданный режим путем обточки (подрезки) рабочего колеса по наружному диаметру.

В этом случае возникает задача определения диаметра обточенного рабочего колеса, при котором напорная характеристика насоса пройдет через расчетную точку, и определения рабочих характеристик насоса с обточенным рабочим колесом.

Точное определение требуемых диаметров рабочих колес при эксплуатации оросительных насосных станций приводит к соблюдению расчетных режимов работы и снижению вероятности возникновения негативных с экологической точки зрения ситуаций, т.е. повышает экологическую надежность объектов [1,3,6].

Если известны характеристики для трех и более диаметров рабочего колеса, то задача решается графической интерполяцией [1].

Если известны характеристики для одного диаметра рабочего колеса, то решение задачи основывается на эмпирических зависимостях показателей от коэффициента быстроходности насоса ns [1, 2].

Предлагаемый метод расчета диаметра обточенного рабочего колеса и рабочих характеристик центробежного насоса с обточенным рабочим колесом является аналитическим и при-

меним при известных характеристиках насоса для двух диаметров колеса.

При сравнительно небольшой обточке колеса (процент не превышает допустимую величину, равную $P_{\text{доп}} = 23 - 0,06 n_s$, где коэффициент

быстроходности насоса $n_s = 3,65 n \frac{Q^{1/2}}{H^{3/4}}$; n – ча-

стота вращения в об/мин; Q – подача в $\text{м}^3/\text{с}$; H – напор в м) коэффициент полезного действия (КПД) насоса изменяется незначительно [3]. Поэтому можно приближенно принять, что при обточке колеса подача и напор насоса будут находиться на параболе подобных режимов, для которой сохраняется постоянство КПД насоса [3, 4, 5]:

$$H = a Q^2. \quad (1)$$

Для нахождения параболы подобных режимов, проходящей через расчетную точку (точку А с коэффициентами Q_p и H_p), запишем соотношение (1) для точки А:

$$H_p = a_A Q_p^2$$

Откуда получим

$$a_A = H_p / Q_p^2,$$

а уравнение этой параболы

$$H = a_A Q^2.$$

Данная парабола пересечется с известными напорными характеристиками для диамет-

ров D_{2max} и D_{2min} в точках В и М соответственно.

Значения подач на параболе связаны с диаметром колеса следующим соотношением [1]:

$$Q = b D_2^\alpha. \quad (2)$$

Коэффициент b и показатель степени α изменяются в зависимости от положения параболы. Для параболы, проходящей через точку А, на основании выражения (2) запишем:

$$Q_B = b_A \cdot D_{2max}^{\alpha_A} \quad (3)$$

$$Q_M = b_A \cdot D_{2min}^{\alpha_A} \quad (4)$$

$$Q_p = b_A \cdot D_{2max\ обг}^{\alpha_A} \quad (5)$$

где $D_{2обг}$ – диаметр обточенного рабочего колеса.

Используя соотношения (3) и (4), получим:

$$\frac{Q_B}{Q_M} = \left(\frac{D_{2max}}{D_{2min}} \right)^{\alpha_A} \quad (6)$$

Из выражения (6) находим зависимость для показателя степени α_A :

$$\alpha_A = \frac{\lg\left(\frac{Q_B}{Q_M}\right)}{\lg\left(\frac{D_{2max}}{D_{2min}}\right)} \quad (7)$$

На основании соотношений (4) и (5) запишем:

$$Q_p / Q_B = \left(\frac{D_{2max\ обг}}{D_{2max}} \right)^{\alpha_A} \quad (8)$$

Из формулы (8) найдем диаметр обточенного колеса:

$$D_{2max\ обг} = D_{2max} \left(\frac{Q_p}{Q_B} \right)^{1/\alpha_A}. \quad (9)$$

Для построения напорной характеристики насоса с диаметром $D_{2max\ обг}$ на известной напорной характеристике с максимальным диа-

метром выбирается некоторое количество точек E ($E_1, E_2, E_3 \dots$). Через каждую из них проводится парабола подобных режимов, выражение для которой найдется с помощью формулы:

$$H = (H_{Ei} / Q_{Ei}^2) \cdot Q^2. \quad (10)$$

Параболы, рассчитанные по формуле (10), дадут точки пересечения с известной напорной характеристикой при минимальном диаметре колеса L_i (точки $L_1, L_2, L_3 \dots$). Тогда для каждой параболы аналогично формуле (7) получим выражение для показателя степени α_{Ei} :

$$\alpha_{Ei} = \frac{\lg\left(\frac{Q_{Ei}}{Q_{Li}}\right)}{\lg\left(\frac{D_{2max}}{D_{2min}}\right)} \quad (11)$$

Используя соотношения (2) и (10) находим координаты точек G_i (точки $G_1, G_2, G_3 \dots$), расположенных на параболах и соответствующих напорной характеристике насоса с обточенным рабочим колесом:

$$H_{Gi} = H_{Ei} \cdot (D_{2max\ обг} / D_{2max})^{2\alpha_{Ei}}$$

В связи с тем, что зависимости подачи и напора от диаметра рабочего колеса степенные, мощность насоса будет изменяться также по степенной зависимости:

$$N = c \cdot D_2^\Theta. \quad (13)$$

Тогда для каждой пары точек, соответствующих подачам, расположенным на параболах подобных режимов, можно на основании формулы (13) записать:

$$\begin{aligned} N_{ei} &= c \cdot D_{2max}^{\Theta_i}, \\ N_{ii} &= c \cdot D_{2min}^{\Theta_i} \end{aligned} \quad (14)$$

Из уравнений (14) получаем выражение для показателя степени Θ_i :

Таблица 1

Максимальные погрешности расчета

№	Марка насоса	Частота вращения n, об/мин	Коэффициент быстроходности n _s	Погрешности расчета, %				
				D _{2 обт}	Q _{обт}	H _{обт}	N _{обт}	η _{обт}
1	Д320-50	1450	82	0.85	0.6	1.2	1.8	2.2
2	Д1600-90	1450	120	1.7	0.95	1.5	1.9	2.7
3	Д5000-32	730	234	0.3	0.4	0.8	1.7	1.9
4	Д12500-24	485	296	1.1	0.7	0.9	1.7	2.4

$$\Theta_i = \frac{\lg\left(\frac{N_{ei}}{N_{li}}\right)}{\lg\left(\frac{D_{2max}}{D_{2min}}\right)}. \quad (15)$$

Используя формулы (13) и (14), получаем выражение для расчета мощностной характеристики насоса с обточенным колесом:

$$N_{gi} = N_{ei} \cdot \left(\frac{D_{2max обт}}{D_{2max}}\right)^{\Theta_i} \quad (16)$$

Зависимость для КПД насоса с обточенным колесом найдется по известной зависимости:

$$\eta_{gi} = \frac{981 \cdot Q_{Gi} \cdot H_{Gi}}{N_{gi}}, \% \quad (17)$$

где размерность подачи – м³/с, мощности – кВт, напора – м.

Для проверки предложенной методики использовали четыре насоса типа Д, для которых известны характеристики при трех и более диаметрах рабочего колеса: насосы Д320-50, Д1600-90, Д5000-32 и Д12500-24. Параметры этих насосов охватывают широкий диапазон: по коэффициенту быстроходности: 82 ÷ 300, по диаметру колеса: 340 ÷ 1050 мм, по оптимальной подаче: 320 ÷ 12500 м³/час, по оптимальному напору 24 ÷ 90 м, по частоте вращения: 485 ÷ 1450 об/мин.

При расчетах в качестве известных принимали увеличенные каталожные характеристики насосов при минимальном и максимальном диаметре рабочего колеса. Сравнение результатов расчетов проводили с характеристиками, соответствующими промежуточному значению диаметра колеса (обточку колеса насоса Д12500-24 проводят по эскизам завода-изготовителя). Полученные максимальные погрешности расчета приведены в табл. 1.

Из таблицы видно, что погрешности расчетов не превышают: для диаметра – 1,7%, для подачи – 1%, для напора – 1,5%, для мощности – 1,9%, для КПД – 2,7%. Полученные значения погрешностей свидетельствуют о возможности использования предложенной методики для расчета диаметра обточенного колеса и рабочих характеристик насоса с обточенным рабочим колесом при известных характеристиках для двух диаметров рабочего колеса.

ВЫВОДЫ

Предложенная методика имеет достаточно высокую точность получаемых результатов и может быть использована в практике водохозяйственных организаций, в частности, для оросительных насосных станций с целью снижения энергозатрат при работе и регулирования насосно-силового оборудования по заданным значениям показателей эксплуатационных режимов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Насосы и насосные станции / Под ред. В.Ф.Чебаевского. – М.: Агропромиздат, 1989. – 416 с.
2. Гейнц В.Г. Как определить величину обточки рабочего колеса центробежного насоса // Водоснабжение и сан.техника, 1990. №6, с.21-23.
3. Турк В.И., Минаев А.В., Карелин В.Я. Насосы и насосные станции. – М.: Стройиздат, 1976. – 304 с.
4. Гейнц В.Г. К расчету КПД водопроводных насосов // Водоснабжение и сан.техника, 1990. №9, с.39-40.
5. Гейнц В.Г. Затыловка лопаток рабочих колес центробежных насосов эффективна // Водоснабжение и сан.техника, 1990. №6, с.27-29.
6. Захаров Р.Ю. Экологическая надежность оросительных насосных станций. Строительство и техногенная безопасность. Сб.научн.трудов КИПКС, - Симферополь: Таврия, 1998, с.247-250.

А.Т. Дворецкий

Крымская академия природоохранного и курортного строительства

Геометрическая модель отражённой солнечной энергии

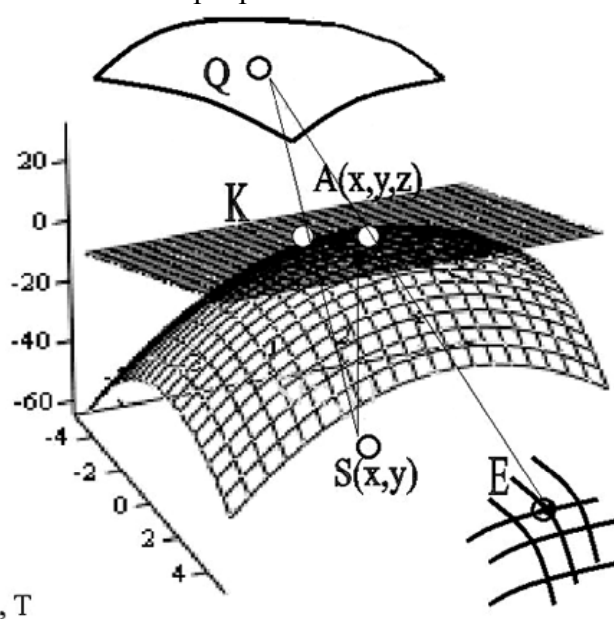
Предлагается геометрическая модель распределения отражённой концентратором солнечной энергии на поверхности приёмника. Для этого фронт падающего потока разбит на равные порции. Приведен алгоритм описания координат узлов энергетической карты.

При расчёте и проектировании солнечных установок с концентраторами выбор формы и положения приёмника зависит от распределения отражённой концентратором солнечной энергии в фокальной зоне. Может быть поставлена и обратная задача, когда при заданном характере распределения энергии на приёмнике моделируют форму концентратора. Эту задачу решают при наличии модели распределения отражённой солнечной энергии на поверхности приёмника. Такая модель может быть построена как результат физического моделирования процесса отражения, так и геометрического моделирования. Первый путь трудоёмкий и требует большого времени на создание одной модели. Второй путь позволяет создать модель с переменными параметрами формы и положения концентратора и приёмника и получить необходимое решение из большого набора вариантов.

Вопросы распределения отражённой солнечной энергии для плоской задачи были рассмотрены в статье [1]. Результаты, полученные в этой работе, справедливы для расчёта солнечных установок с цилиндрическими концентраторами, следящими за солнцем. Способы и алгоритмы построения звуковых карт были рассмотрены в работе [2], [3]. Они справедливы для звуковой волны с источником в собственной точке и разбиении сферической волны на равные порции. Анализ публикаций [5], [6] показывает, что данные о характере распределения отражённой солнечной энергии на поверхности приёмника, полученные на физических моделях, существенно влияют на выбор конструктивного решения приёмника солнечной установки.

Для моделирования распределения отражённого потока солнечной энергии на поверхности приёмника необходимо определить сте-

пень изменения плотности отражённого потока по отношению к плотности падающего потока. С этой целью падающий на концентратор солнечный поток необходимо разбить на равные порции и на этой основе дать количественную оценку распределения энергии на приёмнике. Такая многопараметрическая задача с использованием массивов точек и линий может быть реализована в программе MathCad.



f, T

Рис. 1. Схема построения энергетической карты

В практике проектирования солнечных установок фронт светового потока принимается в виде плоскости. Наиболее простой способ разбиения плоского фронта с помощью квадратной сетки. Причём площади ячеек сетки должны быть одинаковыми.

Для случая с квадратной сеткой нормальная конгруэнция падающих лучей расслаивается на два однопараметрических семейства плоскостей. При этом нормальная конгруэнция отражённых лучей расслаивается на два однопараметрических семейства поверхностей

отражённых лучей. Семейства поверхностей отражённых лучей пересекают поверхность приёмника по сети, которая названа энергетической. Отношение площади ячейки на энергетической карте к площади ячейки на плоском солнечном фронте определяет удельную степень концентрации.

Управлять формой концентратора предлагается с помощью поверхности – ортотомии, которая является нормальной поверхностью к конгруэнции отражённых лучей. Для предварительной оценки степени концентрации и определения формы и положения поверхности приёмника используют алгоритм построения квазифокальных линий на основе теории о квазифокальных точках и линиях [4]. Алгоритм построения энергетической карты (рис. 1) реализован в программе MathCad.

Пусть задана отражающая поверхность уравнением

$$z = f(x, y). \quad (1)$$

Плоский фронт солнечной волны зададим координатной плоскостью xOy . На плоской волне нанесём квадратную сетку с узлами $S(x_s, y_s)$. Так как направление падающих лучей параллельно оси z , то отражающая точка задаётся координатами $A(x_s, y_s, z_A)$.

Касательная плоскость к поверхности в точке $A(x_s, y_s, z_A)$

$$T(x, y) = A(x - x_s) + B(y - y_s) + z_A, \quad (2)$$

где:

$$A = \frac{d}{dx}(f(x, y)),$$

$$B = \frac{d}{dy}(f(x, y)),$$

$$z_A = f(x, y).$$

Перпендикуляр из узла сети $S(x_s, y_s)$, опущенный на касательную плоскость $T(x, y)$

$$\begin{aligned} \frac{X - x_s}{A} &= \\ &= \frac{y - y_s}{B} = \frac{Z}{-1}. \end{aligned} \quad (3)$$

Основание перпендикуляра определяется совместным решением (2) и (3)

$$\begin{aligned} z_K &= \frac{z_A - 2(Ax_s + By_s)}{1 + A^2 + B^2}, \\ x_K &= -Az_K - x_s, \\ y_K &= -Bz_K - y_s. \end{aligned} \quad (4)$$

Точка Q симметрична точке $S(x_s, y_s)$ относительно касательной плоскости $T(x, y)$

$$\begin{aligned} x_Q &= -2Az_K - x_s, \\ y_Q &= -2Bz_K - y_s, \\ z_Q &= 2z_K. \end{aligned} \quad (5)$$

Эта точка принадлежит поверхности ортотомии.

Отражённый луч перпендикулярен поверхности ортотомии и проходит через точки Q и A .

$$\begin{aligned} \frac{X - x_s}{x_Q - x_s} &= \\ &= \frac{Y - y_s}{y_Q - y_s} = \frac{Z - z_A}{z_Q - z_A}. \end{aligned} \quad (6)$$

Так как положение оси z выбрано параллельно направлению падающих лучей, то $x_s = x_A$ и $y_s = y_A$.

Точка E есть узел сетки на энергетической карте. Энергетическая карта строится на поверхности приёмника

$$z = F(x, y), \quad (7)$$

Совместное решение (6) и (7) даёт координаты узла энергетической карты.

В программе Mathcad реализована поставленная задача для концентратора в виде параболоцилиндра с направляющей окружностью радиуса $a=100$ мм и приёмника в виде цилиндра с радиусом $r=5$ мм. В задаче переменным является расстояние b от оси

приёмника до поверхности концентратора. Так для значения $b = 60$ мм (рис. 2) распределение отражённой солнечной энергии на поверхности приёмника неравномерное. Для значения $b = 45$ мм (рис. 3) распределение энергии равномерное. Меняя относительное положение приёмника и концентратора можно добиться эффективной работы концентрирующей системы.

ВЫВОДЫ

Разработанная геометрическая модель потока отражённой концентратором солнечной энергии позволяет определять характер распределения энергии на поверхности приёмника и с учётом этого корректировать форму и положение приёмника в течение дня и сезона, а также моделировать форму концентратора по заданному характеру распределения энергии на приёмнике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дворецкий А.Т. Распределение отражённой солнечной энергии на поверхности приёмника // Прикладна геометрія та інженерна графіка. - Київ: КНУБА, 2001 - вип. 69.- С. 83 – 86.
2. Дворецкий А.Т. К вопросу обработки звуковых карт// Прикладная геометрия и инженерная графика. - Киев: Будівельник. 1980 -вып. 30.- С. 53-55.
3. Дворецкий А.Т. К вопросу определения звуковых карт и оценки отражающих свойств оболочки// Республиканская конференция по прикладной геометрии и инженерной графике (тезисы докладов). Киев.: Наукова думка, 1976.
4. Дворецкий А.Т. Квазифокальная кривая при отражении от поверхностей вращения и каналовых поверхностей// Прикладная геометрия и инженерная графика.-Киев:- 1993 -вып. 55 , с.
5. Binner P., Bohmer M., Hennecke K. Development and test of advanced parabolic trough receivers // The 8th International Symposium on Solar Thermal Concentrating Technologies.- Koln, Germany. 1996. C. 715-731.
7. Ajona J.I., Herrmann U., Sperduto F., Farinha J. Main achievements with ARDISS project// The 8th International Symposium on Solar Thermal Concentrating Technologies.- Koln, Germany. 1996. C. 733-767.

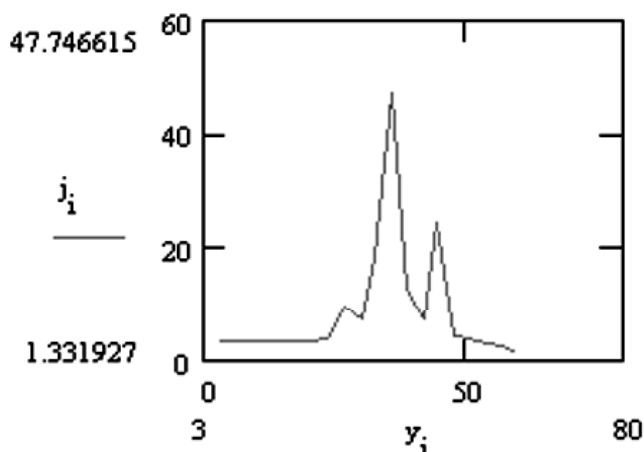


Рис.2.

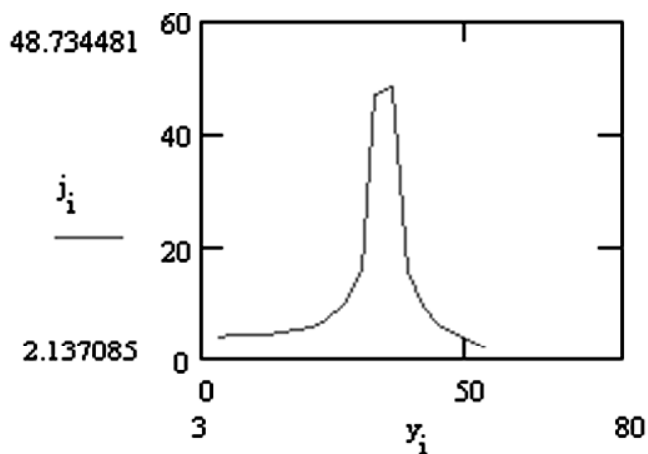


Рис.3.

О.М. Козлов, Л.Д. Сокут, Э.А. Бекиров, Д.Б.Бонев

Крымская Академия природоохранного и курортного строительства

Установки многофункциональных компьютеризированных источников автономного электроснабжения для учебных и научных целей

Рассматривается методика разработки комплексных лабораторных установок для изучения характеристик нетрадиционных источников энергии – солнечных фотопреобразователей и ветроэнергоустановок с использованием отдельных элементов и схем построения реальных источников энергии.

энергия солнечного излучения, энергия ветра, полупроводниковые фотопреобразователи, электрический генератор, электрический двигатель, инвертор, частота электрического тока, частота вращения, ветро-турбина, лопасть.

Для учебных и научных целей при изучении и исследовании нетрадиционных источников энергии (НИЭ) на кафедре физики и энергоснабжения КАПКС разработаны, изготовлены и введены в действие универсальные установки автономного электроснабжения (АЭС) с использованием, в одном случае, фотоэлектрических преобразователей солнечного излучения (солнечной батареи, СБ) и, в другом случае, ветроэлектрогенератора (ВЭУ) [1,2].

При разработке аппаратного состава и схемных решений АЭС выполнены следующие требования:

использованы промышленные образцы аппаратов, применяемых в реальных АЭС небольшой мощности (до 1 кВт);

предусмотрено получение на выходе АЭС электрической энергии постоянного тока напряжением 12В и 24В и переменного тока, по форме близкого к синусоидальному, напряжением 220В, частотой 50Гц;

автоматизированы все режимы работы АЭС для удобства пользователя;

автоматизировано измерение всех основных параметров АЭС с применением многочисленных датчиков величин для изучения и исследований;

предусмотрено универсальное устройство ввода-вывода информации «L-CARD» встроенное в ПЭВМ (на шине PCI) с числом входов 16/32, содержащее 12-ти разрядный АЦП, обеспечивающий высокую точность измерения параметров при частоте преобразования входных сигналов до 70 кГц;

с использованием программного сопровождения «L-CARD» для ПЭВМ разработаны программы визуализации измеренных параметров и создания базы данных.

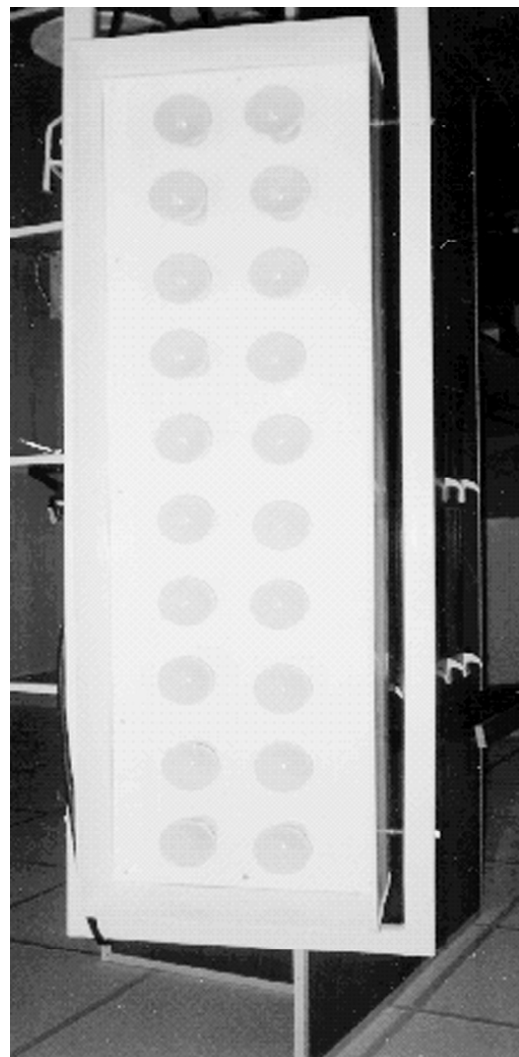


Рис.1. Имитатор солнечного излучения.

ИСИ имеет устройство плавного регулирования напряжения сети 220В. Рассчитан на изменение поверхностной плотности потока излучения от 0 до 1000 Вт/м²

Установка СБ на базе электрогенерирующей панели с кремниевыми фотоэлект-

рическими преобразователями (ФП) (см. ниже) солнечного излучения площадью $0,5 \text{ м}^2$ предназначена для учебных целей – выполнения лабораторных, практических, курсовых и дипломных работ по курсам «Преобразование солнечного излучения», «Фотоэлектрические установки автономного электрообеспечения», «Элементы электрооборудования энергоустановок НИЭ», различных научных исследований. В состав установки СБ входят: имитатор солнечного излучения, панель кремниевых фотопреобразователей, аккумуляторная батарея, блок управления.

Имитатор солнечного излучения (рис.1) площадью на 15 % больше площади солнечной батареи с возможностью регулирования поверхностной плотности потока излучения от 0 до 1000 Вт/м^2 . Имитатор располагают на вертикальной стойке высотой 1,8 м. Стойку можно свободно перемещать по полу.

Регулирование поверхностной плотности потока излучения имитатора производят за счет плавного изменения напряжения сети 220В с помощью блока питания.

Имитатор солнечного излучения воспроизводит спектр солнечного излучения в диапазоне частот видимого света, имеет равномерную поверхностную плотность излучения.

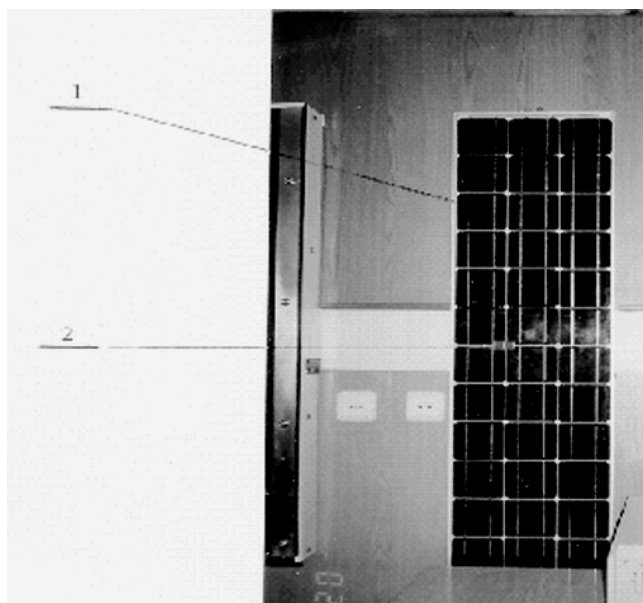
Электрогенерирующая панель ФП (см. выше) площадью $0,5 \text{ м}^2$ (рис.2) выбрана из условия получения мощности 50...80 Вт электрической энергии постоянного тока при поверхностной плотности излучения 80 Вт/м^2 . Значение выходного напряжения постоянного тока – до 27В.

На панели установлен датчик поверхностной плотности излучения[1]

Установка СБ содержит преобразователь энергии постоянного тока в энергию переменного тока (инвертор) мощностью до 150...200Вт. Инвертор обеспечивает работу установки в режимах:

- источник постоянного тока – солнечная батарея,
- источник постоянного тока – химическая аккумуляторная батарея,
- источник постоянного тока - параллельно включенные солнечная и аккумуляторная батареи.

Конструктивно инвертор встроен в блок управления и преобразования (БУ) (рис.3.) Предусмотрены защитные устройства всех цепей инвертора.



Р и с . 2 . П а н е л ь с о л н е ч н ы х фотопреобразователей. ПСФ - 1,(рассчитана на мощность 50...80 Вт при поверхностной плотности потока излучения 800 Вт/м^2). На поверхности панели установлен датчик поверхностной плотности излучения - 2

Для химической аккумуляторной батареи емкостью 190 Ачас в составе СБ предусмотрен заряд в двух случаях: от панели ФП (основной, штатный режим) и от сети переменного тока напряжением 220 В (дополнительный режим).

Блок БУ включает инвертор, коммутатор режимов работы СБ, аппараты переключения цепей установки, сигнальные лампы, измерительные приборы, датчики параметров АЭС, плату формирования сигналов для ввода в устройство «L-CARD», защитные устройства всех цепей блока.

Установка СБ работает в нескольких режимах – табл.1.

Для подключения внешних цепей нагрузки блок БУ имеет два выхода –постоянного тока напряжением 12 В и переменного тока напряжением 220 В, 50Гц.

Цепи внешней нагрузки пользователя не входят в состав установки. Характер нагрузки для цепи переменного тока - активно-индуктивный, коэффициент мощности не ниже 0,8. Для цепи постоянного тока возможно включение активного приемника (двигателя).

Таблица 1

Режимы работы установки СБ

№ режима	Элементы, работающие в этом режиме				
	имитатор	фотопанель	инвертор	аккумулятор	внешняя цепь
1	+	+	-	-	+
2	+	+	+	-	+
3	+	+	-	+	+
4	+	+	+	+	+
5	-	-	+	+	+
6	-	-	-	+	+

Таблица 2

Технические данные установки СБ

Номинальная мощность	80Вт,
Максимальная длительная мощность	100Вт,
Мощность зарядного устройства	300Вт,
Мощность подключаемого фотопреобразователя	80Вт,
Номинальное напряжение на аккумуляторной батарее и на выходе постоянного тока	12В,

гулирования напряжения и частоты переменного тока приводного двигателя применен блок управления приводом (рис.7). Блок питается от сети 220В. На корпусе блока имеется общий выключатель, кнопка пуска – останова, кнопки изменения частоты вращения генератора, индикатор, отражающий на 10 позициях заданное и фактическое число оборотов вала генератора, а также режимы «Перегрузка» и «Неисправность».

Генератор переменного тока трехфазный синхронный многополюсный с возбуждением на постоянных магнитах (рис. 9) имеет номинальную мощность 750Вт, частота вращения вала - 330 об/мин., выходное напряжение генератора 28,5В. В процессе работы установки выходное напряжение генератора выпрямляется и

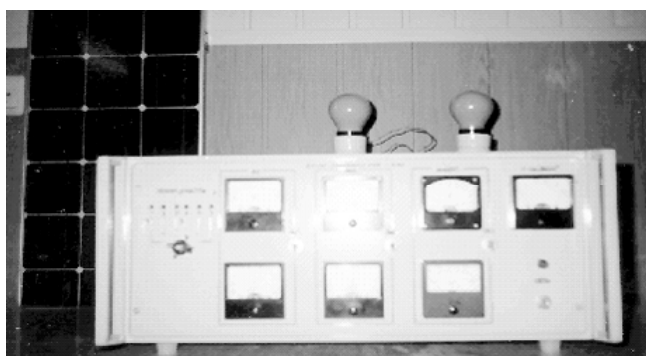


Рис.3. Блок автоматики, управления и коммутации режимов работы установки с фотоэлектрическими преобразователями

Элементы установки СБ изготовлены ООО «Крымская тепловая компания» (г. Севастополь, Украина), плата «L-CARD» и программное сопровождения (г. Зеленоград, Россия).

Универсальная установка автономного электроснабжения ВЭУ предназначена для учебных целей при изучении курсов « Преобразование ветровой энергии», « Электрические установки автономного электроснабжения», «Электрические машины», «Элементы электрооборудования энергоустановок НИЭ», «Основы электроники», научных исследований.

Для создания ВЭУ [2] использован электрогенератор и часть оборудования ветроэлектрической установки ВЭУ-075/8, выпускаемой предприятием «Світ вітру» (г. Харьков, Украина) - рис.6.

Входящие в реальную ветроэнергетическую установку ВЭУ-075/8 лопасти ветротурбины (рис.6, - поз.57...63) в данном случае размещены на стенде как учебное наглядное пособие (рис.7, 8). Одна лопасть препарирована для показа профиля (рис.8, - поз.46...48). Основная силовая часть ветротурбины демонтирована (см. рис.6) .

Установка ВЭУ включает в себя приводной двигатель переменного тока, однофазный асинхронный, частотнорегулируемый (рис.9). Двигатель служит для привода ветрогенератора и позволяет имитировать весь рабочий диапазон частоты вращения реальной ветротурбины. Максимальная потребляемая мощность двигателя – 2кВт, частота вращения – 1000 ... 2000 об/мин.

Для механического соединения головки реальной ветроустановки (вала генератора, см. рис.6) с валом приводного двигателя применен приводной блок с клиноременной передачей. В приводном блоке имеется датчик частоты вращения двигателя. Для ре-

На рис.4, 5 показаны общая структурная схема блока БУ и вид передней панели.

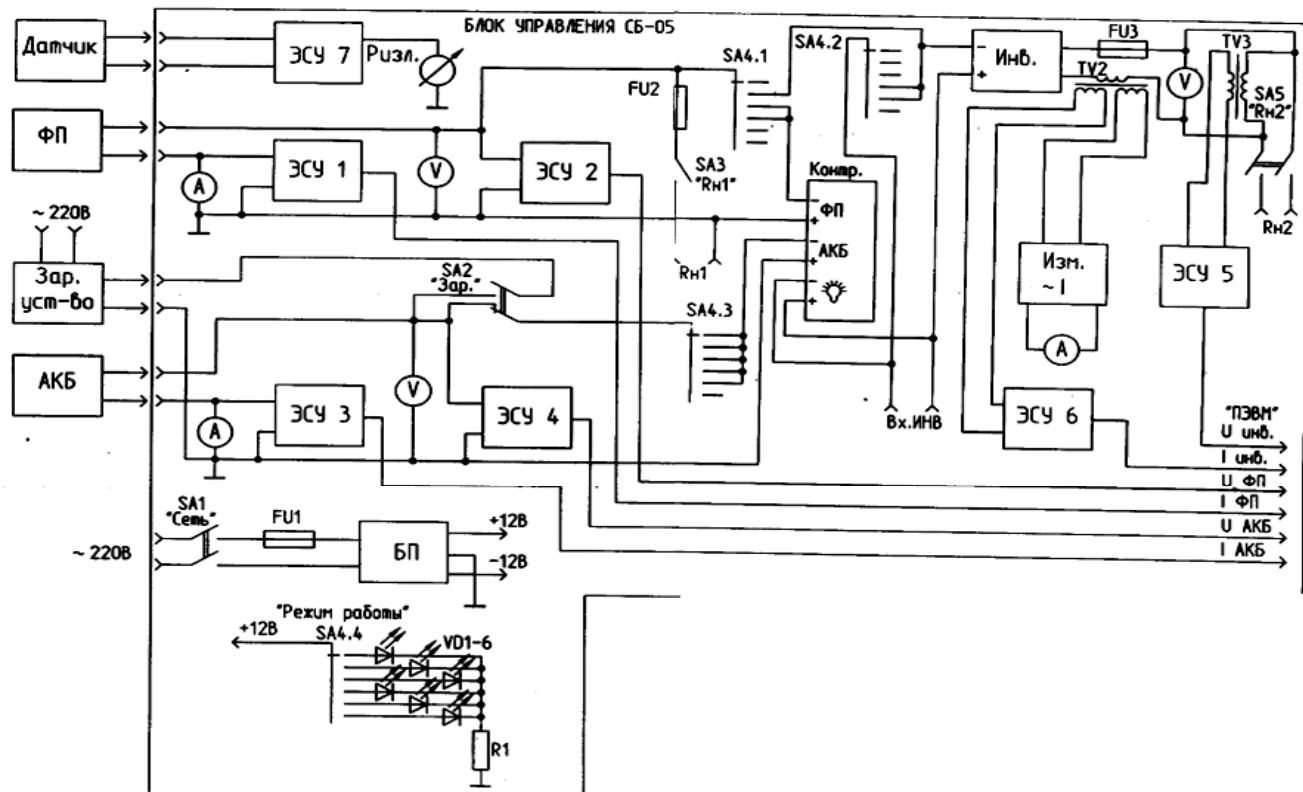


Рис.4 Общая структурная схема блока БУ.

ФП – панель кремниевых фотопреобразователей, датчик – датчик поверхностной плотности излучения, Зар. уст-во – зарядное устройство для аккумуляторной батареи от сети 220 В, 50 Гц, АКБ – аккумуляторная батарея, ЭСУ 1...ЭСУ6 – формирователи сигналов для «L-CARD» в ПЭВМ, ЭСУ7 – формирователь сигнала датчика, Контр. – контроллер режимов работы СБ, Инв. – инвертор, БП – блок питания от сети 220 В, 50 Гц, VD1-6 – индикаторы выбранного режима работы.

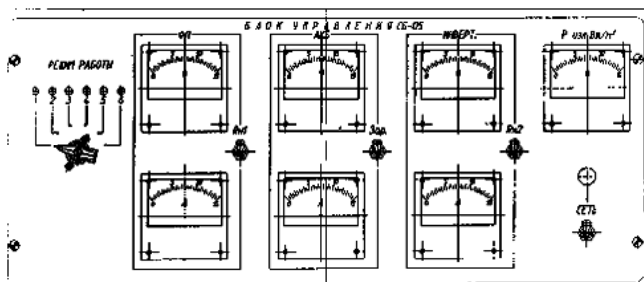


Рис.5. Общий вид передней панели блока БУ.

подается на аккумуляторную батарею и инвертор. Выпрямитель напряжения генератора размещен на его корпусе. Напряжение аккумуляторной батареи 24В постоянного тока, напряжения на выходе инвертора 220В, 50 Гц переменного тока.

В состав установки входит блок управления и преобразования энергии БУ 1 (рис.7). Блок БУ 1 содержит зарядное устройство для аккумуля-

торной батареи, инвертор, датчики параметров всех электрических цепей, устройство контроля заряда аккумуляторной батареи, датчик температуры на корпусе батареи, микропроцессорный блок регулирования и управления, кнопки и тумблеры управления, индикаторную панель на передней стенке, сигнальные светодиоды, звуковую сигнализацию. БУ имеет питание от сети переменного тока 220В, 50 Гц и при выключенном инверторе производит подключение цепей нагрузки переменного тока к сети.

Для подключения внешних цепей нагрузки блок БУ имеет два выхода – постоянного тока напряжением 24В и переменного тока напряжением 220В, 50 Гц.

Таблица 3.

Технические данные установки ВЭУ

Номинальная мощность	1000Вт,
Максимальная длительная мощность	1200Вт,
Перегрузочная мощность (до 30 с)	1200...1700Вт,
Перегрузочная мощность (до 4 с)	1700...2600Вт,
Мощность зарядного устройства	600Вт,
Мощность подключаемого генератора	750Вт,
Номинальное напряжение на аккумуляторной батарее и на выходе постоянного тока	24В
Максимальное напряжение на аккумуляторной батарее и на выходе постоянного тока	30В,
Минимальное напряжение на аккумуляторной батарее и на выходе постоянного тока	21В.

Блок БУ имеет устройства защиты и комплект соединительных кабелей с другими частями установки.

Состав, устройство и работа ветротурбины в реальной ветроэлектрической установке ВЭУ-075/8

Ветроэлектрическая установка ВЭУ-075/8 предназначена для отбора кинетической энергии у движущихся масс воздуха и превращения ее в электрическую энергию.

Основным элементом, преобразующим энергию ветра, является ветротурбина. Параметры ветротурбины: диаметр ротора 3,1 м, число лопастей 3, частота вращения ротора 330 об/мин., скорость ветра – стартовая 2,5 м/с, минимальная 3 м/с, номинальная 7,5 м/с, максимальная 45 м/с, высота мачты 11 м. Масса головки ветротурбины с лопастями 32 кг.

В состав ветротурбины входят головка и лопасти (см. рис.6). Головка состоит из втулки ветротурбины, генератора на одном валу с втулкой, синхронизирующего, тормозного и поворотного устройств.

Набегающий поток воздуха воздействует на лопасти турбины, передается на ротор электрического генератора. Электрическая энергия генератора преобразуется в энергию постоянного тока напряжением 24В и энергию переменного тока напряжением 220В, 50 Гц. Мачта ветроустановки (см. рис.6) имеет ферменную конструкцию.

Корпус втулки ветротурбины (рис.8) установлен на цилиндрическом конце вала турбины и зафиксирован с помощью шпонки и гайки. Оси трех лопастей вставлены в гнезда, расположенные радиально под углами 120° и наклоненные под углом 7° к плоскости вращения турбины, закреплены фиксаторами.

Лопасть (рис.6) представляет собой конструкцию крыла большого удаления. Выполнена из стеклопласта. В связи с необходимостью стабилизации частоты вращения вала турбины при изменении скорости ветра в рабочем диапазоне турбины от 3 до 45 м/с лопасти выполнены поворотными вокруг продольной оси. Кроме того, для получения оптимальных углов атаки по размаху, лопасть имеет значительно большую крутку, чем обычное крыло. Конструкция лопасти состоит из верхней и нижней трехслойных панелей, состоящих из стеклопластовых обшивок, и пенопластового наполнителя. В установке одна из лопастей разрезана для возможности осмотра (рис.7,8). Стыковочный стакан охватывает комлевую часть лопасти и приклеен эпоксидным клеем. В стакане на подшипниках установлена ось, зафиксированная гайками. К стакану крепится компенсирующий груз. В нижней части стакана с помощью винта закреплена коническая синхронизирующая шестерня.

Устройство регулирования числа оборотов турбины центробежного типа с аэромеханичес-

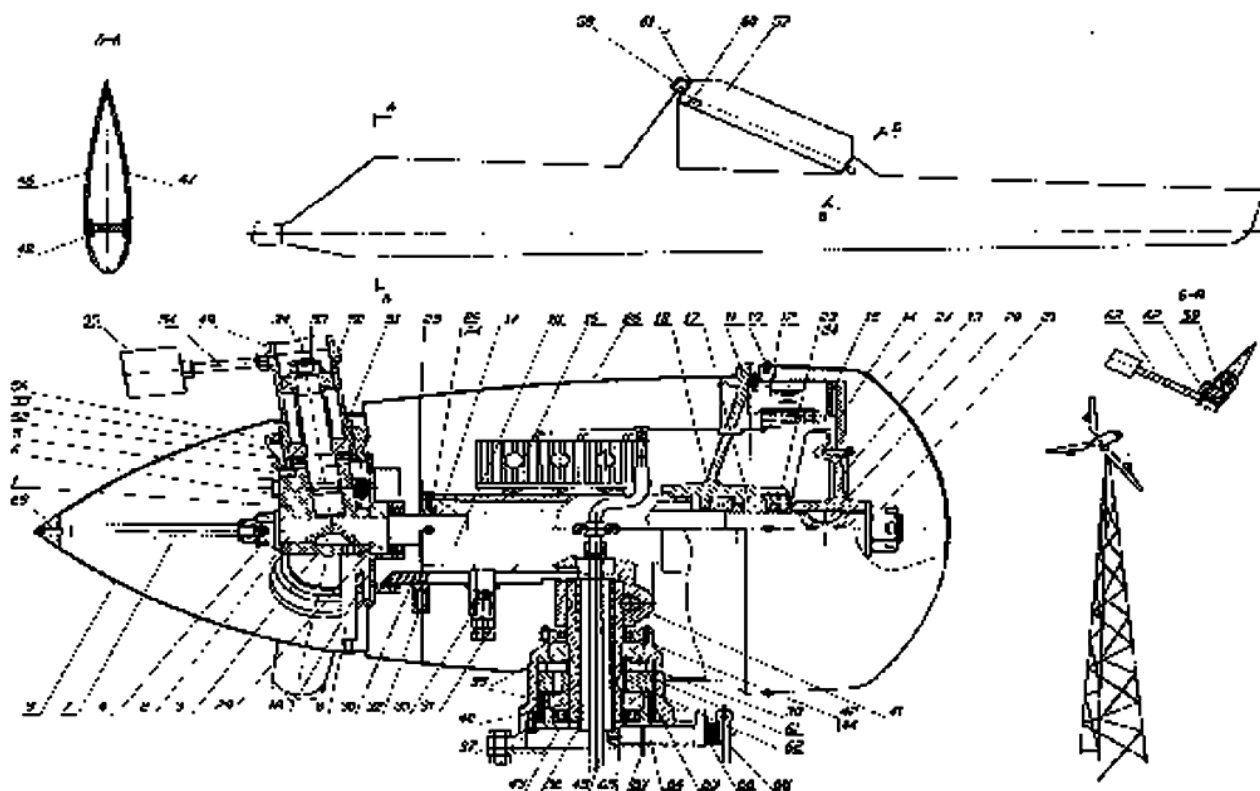


Рис.6 Чертежи элементов ветроэнергоустановки ВЭУ-075/8

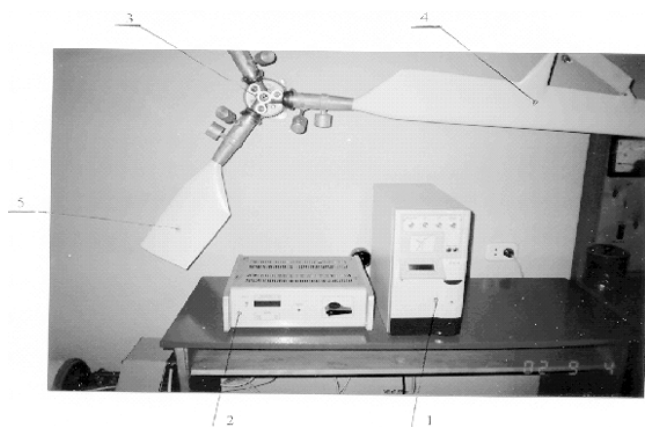


Рис.7. Блок автоматики, управления и коммутации режимов работы установки источника автономного электроснабжения на базе ветрогенератора

1 - ВЭУ — 075/8 ,2 - блок управления приводом генератора,3 - часть головки ветротурбины, 4 - установленные лопасти, 5 - обрезанная лопасть

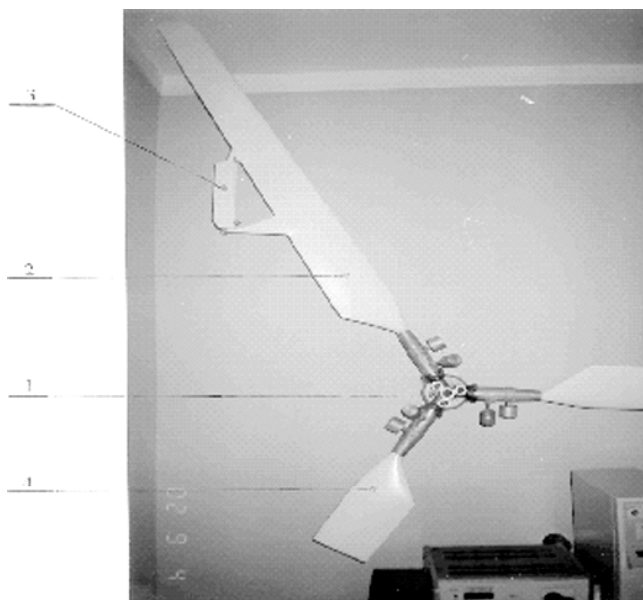


Рис.8. Часть головки ветротурбины - 1 с закрепленными лопастями- 2 установки источника автономного электроснабжения на базе ветрогенератора ВЭУ — 075/8. На одной из лопастей видны элементы устройства регулирования частоты вращения ветротурбины — 3 . Обрезанная лопасть – 4

ким приводом, размещается непосредственно на каждой лопасти и состоит из стабилизатора, торсиона, разрезного сухаря и груза. Осью вращения стабилизатора является торсион. Крутящий момент со стабилизатора передается на изогнутый конец торсиона через втулку. Торсион вставлен в отверстие разрезного сухаря и зафиксирован. Сухарь закреплен в отформованном отверстии на задней кромке лопасти. В стабилизатор вклеен кронштейн, на конце которого установлен груз.

При номинальных оборотах турбины на грузе возникает центробежная сила, составляющая которой, перпендикулярная оси стабилизатора, создает момент на стабилизаторе, стремящийся уменьшить его угол атаки. Момент закрутки торсиона действует в обратном направлении.

Начальный угол установки стабилизатора, жесткость торсиона, масса и плечо груза выбраны такими, чтобы при номинальной скорости ветра устанавливался расчетный угол атаки. При увеличении числа оборотов турбины за счет центробежной силы угол установки стабилизатора уменьшается, что приводит к уменьшению угла атаки лопастей и снижению числа оборотов турбины. При падении скорости вращения турбины все происходит в обратном порядке. Система также работает при резких порывах ветра, стабилизируя перегрузки элементов ветротурбины.

Устройство эффективно обеспечивает постоянство частоты вращения турбины 330 об/мин. при изменении скорости ветра от 3 до 45 м/с



Рис. 9. Приводной блок установки автономного источника электроснабжения на базе ветрогенератора ВЭУ – 075/8, состоящий из приводного двигателя 1, клиноременной передачи 2, генератора 3, рамы и опорных конструкций.

ВЫВОДЫ

Для учебных и научных целей при изучении и исследовании нетрадиционных источников энергии целесообразна разработка универсальной установки автономного электроснабжения с использованием, в одном случае, имитатора солнечного излучения и фотоэлектрических преобразователей солнечного излучения (солнечной батареи) и, в другом случае, приводного частотно регулируемого двигателя и ветроэлектрогенератора

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Н.М. Мхитарян. Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. Опыт и перспективы. Киев: Наукова Думка, 1999.- 315 с.
2. Неисчерпаемая энергия. Кн.1. Ветроэлектрогенераторы / В.С. Кривцов, А.М. Олейников, А.И. Яковлев. - Учебник. - Харьков: Нац.аэрокосм.ун-т «Харьк. авиац.ин-т», Севастополь: Севаст.нац.техн.ун-т, 2003.- 400 с.

О.М Козлов, Л.Д. Сокут, С.П. Муровский

Крымская Академия природоохранного и курортного строительства.

Установка автономного теплоснабжения на базе жидкостного солнечного коллектора для учебных и научных целей

Рассматривается методика разработки комплексных лабораторных установок для изучения характеристик нетрадиционных источников тепловой энергии на основе гелиоколлекторов с использованием отдельных элементов и схем построения реальных источников.

энергия солнечного излучения, имитатор солнечного излучения, гелиоколлектор, измерение параметров, насос, трубопровод, тепловой аккумулятор

Для учебных и научных целей при изучении и исследовании нетрадиционных источников энергии (НИЭ) на кафедре физики и энергоснабжения КАПКС разработана, изготовлена и введена в действие установка автономного теплоснабжения (УТС) с использованием жидкостного солнечного коллектора (СК) и теплового аккумулятора (ТА) [1,2].

При разработке аппаратного состава и схемных решений УТС выполнены следующие требования:

- использованы промышленные образцы аппаратов, применяемых в реальных УТС;
- автоматизированы все режимы работы УТС для удобства пользователя;
- автоматизировано измерение всех основных параметров УТС с применением многочисленных датчиков величин для изучения и исследований;
- предусмотрено универсальное устройство ввода-вывода информации «L-CARD» встроенное в ПЭВМ (на шине PCI) с числом входов 16/32, содержащее 12-ти разрядный АЦП, обеспечивающий высокую точность измерения параметров при частоте преобразования входных сигналов до 70 кГц;
- с использованием программного сопровождения «L-CARD» для ПЭВМ
- разработаны программы визуализации измеренных параметров и создания базы данных.

Энергетическая установка автономного теплоснабжения на базе СК площадью $0,7 \text{ м}^2$ (рис.1) предназначена для учебных целей – выполнения лабораторных, практических, курсовых и дипломных работ по курсам «Преобразование солнечного излучения», «Солнечные коллекторы», «Установки автономного теплоснабжения», «Элементы электрооборудования энергоустановок», научных исследований.



Рис.1. Универсальная энергетическая установка автономного теплоснабжения.

Жидкостный солнечный коллектор - 1, блок управления - 2, ПЭВМ - 3, систему трубопроводов - 4, расширительный бачок - 5, панель с регулирующими и измерительными приборами - 6, накопитель тепла - бак-аккумулятор - 7

Установка УТС включает в себя следующие элементы:

1. Имитатор солнечного излучения площадью на 15% больше площади СК с возможностью регулирования поверхностной плотности потока излучения от 0 до 1000 Вт/м^2 . Имитатор располагается на вертикальной стойке высотой 1,8 м. Стойка свободно перемещается по полу

Регулирование поверхностной плотности потока излучения имитатора производят за счет плавного изменения напряжения сети 220 В с помощью блока питания.

Имитатор солнечного излучения воспроизводит спектр солнечного излучения в диапазоне частот видимого света, имеет равномерную поверхностную плотность излучения.

2. Панель жидкостного солнечного коллектора [2] площадью $0,7\text{ м}^2$ (рис. 2) соответствует техническим данным согласно ISO DIS 9806-2. Конструктивно выполнена в виде блока, содержит входную и выходную трубы с вентилями для подачи и отвода теплоносителя. На входе и выходе теплоносителя панели СК, а также снаружи панели, установлены датчики температуры теплоносителя и температуры окружающей среды. На поверхности СК имеется прибор, измеряющий поверхностную плотность излучения.

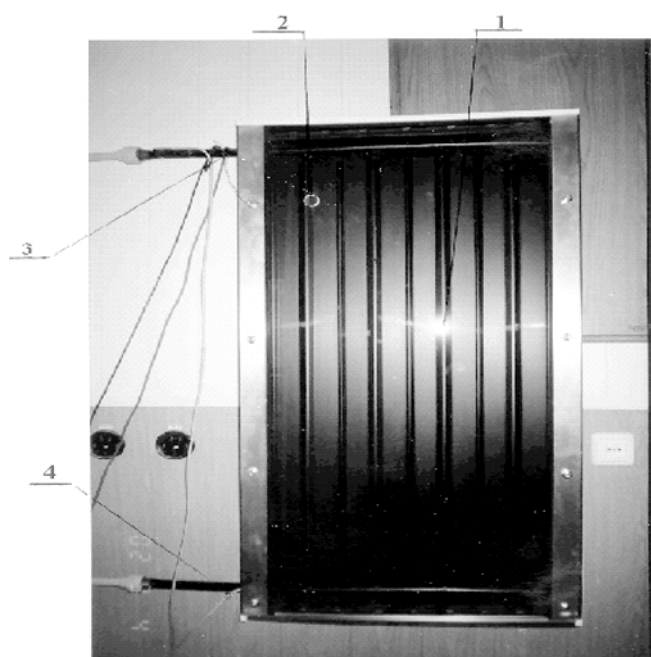


Рис. 2. Панель жидкостного солнечного коллектора.

Коллектор имеет селективную поглощающую пластину - 1. На поверхности стеклянного покрытия коллектора установлен датчик поверхностной плотности излучения — 2. На входном и выходном трубопроводах коллектора имеются датчики температуры жидкого теплоносителя — 3,4, установленные внутри трубопроводов.

3. Насос, расширительный бак и тепловой аккумулятор (рис.3, 4).

Установка УТС содержит в контуре теплоносителя СК трубопроводы, циркуляционный насос, расширительный бачок, бак-аккумулятор ТА с находящимся внутри бака змеевиком теплообменника, панель с измерительными приборами. Размер и площадь змеевика, объем ТА и его теплоизоляция,

диаметр и конфигурация трубопроводов теплоносителя выбраны согласно нормам для расчета систем теплоснабжения с СК с целью минимизации тепловых потерь в элементах установки и получения высокого КПД [2]. Теплоноситель в контуре СК — вода или антифриз.

Теплоноситель внутри ТА — вода. ТА имеет входную трубу с вентилем для подачи воды при его заполнения и возможность визуального контроля уровня. Режим работы ТА в лабораторной установке — не проточный.

Предусмотрено питание циркуляционного насоса от сети переменного тока 220В через блок управления БУ.

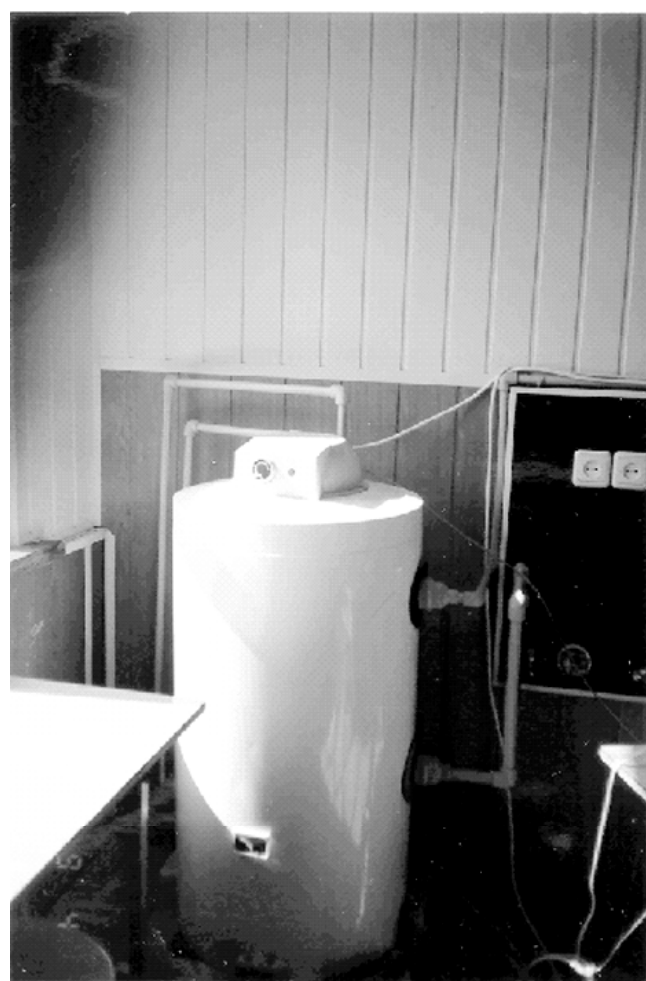


Рис.3. Бак-аккумулятор системы автономного теплоснабжения на базе жидкостного солнечного коллектора.

Циркуляционный насос и трубопроводы смонтированы на открытой панели удобно для сборки всех соединений контура теплоносителя.

В контуре теплоносителя за пределами панели СК установлены датчики расхода

теплоносителя, температуры воды в ТА, температуры окружающей среды.

4. Блок автоматики, управления и коммутации режимов работы установки БУ – рис.5.

В состав БУ входят аппараты включения и выключения циркуляционного насоса, сигнальные лампы, измерительные приборы переключения цепей установки, плата формирования сигналов для ввода в устройство «L-CARD», защитные устройства всех цепей блока.



Рис.4. Панель с элементами системы автономного теплоснабжения на базе жидкостного солнечного коллектора.

Система трубопроводов - 1, манометр в сети теплоносителя — 2, расширительный бачок - 3, циркуляционный насос — 4, расходомер - 5, накопитель тепла — бак-аккумулятор — 6.



Рис.5. Блок автоматики, управления и коммутации режимов работы системы автономного теплоснабжения на базе жидкостного солнечного коллектора.

Блок БУ обеспечивает работу установки в двух режимах : с включенным насосом (основной режим), с выключенным насосом

(дополнительный режим, продолжительность которого ограничивается устройствами защиты).

БУ выполняется в виде отдельного конструктива, на передней панели которого расположены кнопки (тумблеры) установки режимов, сигнальные лампы работы насоса и срабатывания защиты любого элемента установки; измерительные приборы — указатели температуры теплоносителя на выходе СК, расхода теплоносителя, температуры воды в баке-аккумуляторе.

На рис.6.показана общая структурная схема блока БУ. Элементы ЭСУ1...5 предназначены для формирования сигналов от датчиков для ввода в устройство «L-CARD» в ПЭВМ и для подключения стрелочных показывающих приборов на передней панели блока (рис.7.).

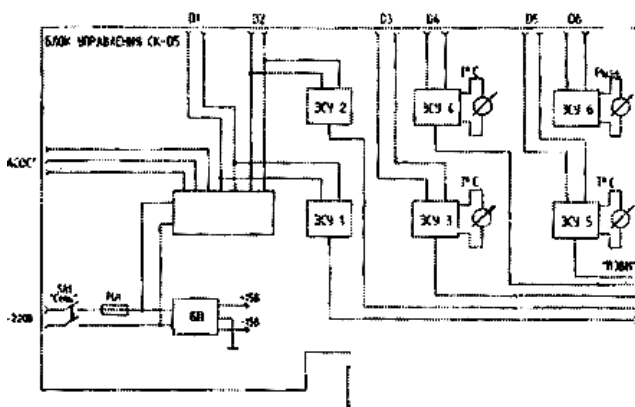


Рис.6. Общая структурная схема блока БУ

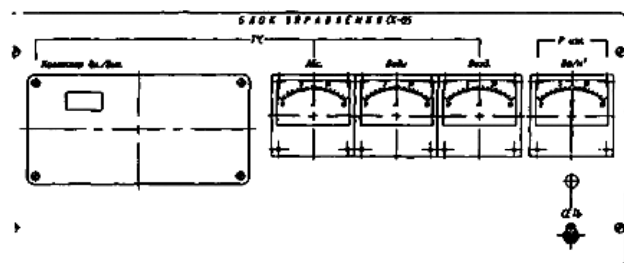


Рис.7. Общий вид передней панели блока БУ

Сигнал с датчика теплового потока, пропорциональный поверхностной плотности облучения над поверхностью СК преобразуется элементом ЭСУ 6. На рис.8 представлена принципиальная электрическая схема БУ.

Элементы установки УТС изготовлены ООО «Крымская тепловая компания» (г. Севастополь, Украина), плата «L-CARD» и программное сопровождение (г. Зеленоград, Россия).

ВЫВОДЫ

Для учебных и научных целей при изучении и исследовании нетрадиционных источников энергии целесообразна разработка универсальных установок автономного теплоснабжения с использованием имитатора солнечного излучения и гелиоколлектора в системе с тепловым аккумулятором.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Н.М. Мхитарян. Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. Опыт и перспективы. Киев: Наукова Думка, 1999.- 315 с.
- 2 Н.М. Мхитарян. Гелиоэнергетика. Системы, технологии, применение. Киев: Наукова Думка, 2002.-315 с.

В.У. Стоянов, М.В. Бакулина, Н.Д. Малыгин

Крымская академия природоохранного и курортного строительства

Источник гарантированного энергоснабжения защитных сооружений, с применением инновационных термоэлектрических технологий

В статье предлагается способ увеличения срока автономной эксплуатации защитных сооружений путем совершенствования существующей схемы энергоснабжения.

защитные сооружения, жизнеобеспечение, автономная эксплуатация, тепловой накопитель, теплоаккумулирующий материал, термоэлектрический генератор, источник бесперебойного питания, период автономности, дизель-электрическая станция

Защита населения в ЧС представляет собой комплекс мероприятий, проводимых с целью не допустить поражения людей или максимально ослабить степень воздействия на них поражающих факторов [1].

Опыт подсказывает, что большая часть людей гибнет от отсутствия возможности укрытия в защитных сооружениях, от неприспособленности защитных сооружений к обеспечению жизнедеятельности требуемый промежуток времени [3].

Существующие, в настоящее время защитные сооружения рассчитаны на обеспечения жизнедеятельности в течение двух суток [3]. Длительность пребывания людей в защитных сооружениях, в первую очередь, зависит от надежного и бесперебойного функционирования жизнеобеспечивающего оборудования: систем тепло-, электро-, холодоснабжения, обеспечение воздухом, водой, организации питания и предоставления социально-бытовых услуг, утилизации продуктов жизнедеятельности.

На современном этапе надежность и бесперебойность функционирования систем жизнеобеспечения защитных сооружений осуществляется по схеме, представленной на рис. 1 [4,8].

Как показано на рис. 1. в дежурном режиме электроснабжение осуществляется от государственной сети. В случае отключения от государственной сети или выхода за предельные характеристики потребляемого тока, автоматически происходит переключение на автономный источник питания. Для выхода автономный источник питания на номинальный режим требуется определенный промежуток времени, что недопустимо для потребителей категории 1а, 1б [5].

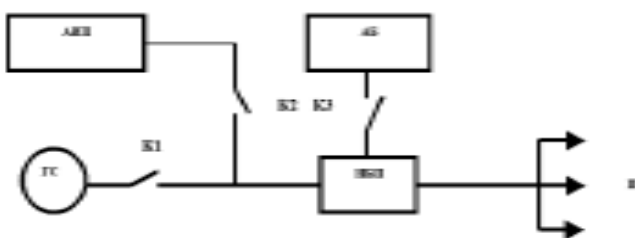


Рис. 1. Схема гарантированного энергоснабжения.

АИП – автономный источник питания; ИБП – источник гарантированного питания; АБ – аккумуляторная батарея; ГС – государственная сеть; П – потребители.

Кроме того, для сокращения указанного временного промежутка необходима специальная подготовка автономного источника питания к эксплуатации [5]. В качестве автономного источника питания используют в основном дизель-электрические станции различных модификаций [8,5].

Недостатками таких автономного источника питания являются:

- потребление в больших объемах атмосферного воздуха;
- большой расход горюче-смазочных материалов;
- необходимость организации выброса отработанных газов в атмосферу;
- выделение в окружающую среду значительного количества тепловых потоков, требующих создания специальных систем отведения тепла.

Мощность систем отведения тепла соизмерима с потребляемой электрической мощностью всего защитного сооружения [7].

В качестве источника бесперебойного питания используется различного типа свинцово-кислотные аккумуляторные батареи, недостатки которых состоят в невозможности создания значительного резерва электрической энергии и ограниченности циклов заряд-разряд, т. е. они не в

состоянии обеспечить длительное пребывание людей в защитном сооружении. Увеличение времени автономности защитных сооружений является сложной эксплуатационно-технической проблемой, требующей совершенствования существующей схемы энергоснабжения. В данной работе предлагается решение поставленной проблемы путем создания дополнительного резерва энергии методом использования тепловых накопителей совместно с термоэлектрическими генераторами. Предлагаемая схема гарантированного энергоснабжения повышенной надежности представлена на рис. 2.

Энергоснабжение защитных сооружений по приведенной на рис. 2. схеме позволяет:

Повысить надежность обеспечения потребителей необходимой электрической мощностью.

Значительно увеличить время автономной эксплуатации защитных сооружений.

Уменьшить количество вредных тепловых выбросов.

Уменьшить количество горюче-смазочных материалов для дизель-электрической станции.

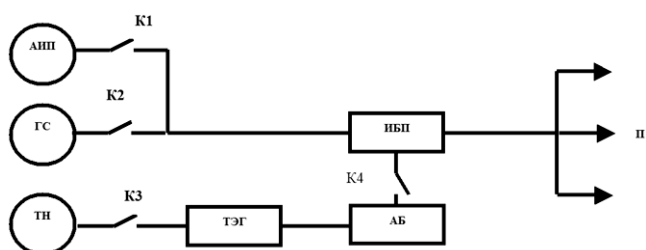


Рис. 2. Схема гарантированного энергоснабжения повышенной надежности. ТЭГ – термоэлектрический генератор; ТН – тепловой накопитель.

Такие результаты достигаются за счет применения в качестве источника бесперебойного питания системы: тепловой накопитель – термоэлектрический генератор – аккумуляторная батарея. Существующие аккумуляторные батареи позволяют обеспечить бесперебойное функционирование систем жизнеобеспечения в течение ~10ч., после чего требуется их замена или полный заряд, что проблематично в условиях ЧС. По предложенной схеме подзарядку батареи осуществляют от термоэлектрического генератора. Источником тепловой энергии служит тепловой накопитель, аккумулирующий тепло, - в дежурном режиме от государственной сети, в автономном от автономного источника питания [2]. Термоэлектрический генератор можно использовать совместно с геоло- ветроэнергетическими установками. Проведенный анализ показал, что в данных технологичес-

ких условиях в качестве теплоаккумулирующего материала необходимо использовать гидроксиды щелочных металлов, работающих на принципе фазового перехода. Для получения максимальной объемной плотности запасаемой энергии порядка

$0,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^3$ может быть применен гидроксид лития LiOH [3]. Данный материал, объемом 3 м^3 , позволяет накопить тепловую энергию, в количестве достаточном после преобразования ее в электрическую для обеспечения потребителей первой категории, мощностью 1,5 кВт в течение 24 суток. В качестве термоэлектрического генератора могут быть использованы кремниево-германиевые спаи, легированные донорно-акцепторными примесями, что позволяет в настоящее время достигнуть технологического предела КПД – 10%. Технология изготовления термоэлектрического генератора в настоящее время хорошо отработана украинской промышленностью, составление их в модульные сборки позволяет достигать специфических вольтамперных характеристик для решения конкретных задач.

ВЫВОДЫ

Предложенное схематическое решение, гарантированного энергоснабжения позволяет:

Повысить надежность энергоснабжения потребителей в условиях ЧС.

Продлить время автономной эксплуатации защитного сооружения до 30 суток.

Улучшить экологическую обстановку, путем полезного использования излишков тепловой энергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арустамов Э. А. Безопасность жизнедеятельности. М: "Дашков и К", 2002.
2. Гула Н. В. Накопители энергии. М: Энергоиздат, 1980. 62с.
3. Данилин А. В. и др. Тепло- и холодоаккумулирующие материалы. Краснодарское издательство, КПИ, 1991.
4. Матросова Ю. А., Овчаренко В. А. М: Стройиздат, 1990, 163с.
5. Семейко Б., Чмил В. Отчет о научно-исследовательской работе "Исследования путей повышения автономности и живучести системы электросбережения фортификационных сооружений", Харьков, 1996.
6. Стоянов В. У. Автономные источники энергии для обеспечения живучести объектов – укрытий. НТС, Симферополь, КАПКС, 2003.
7. Стоянов В. У. Перспективные системы энергоснабжения малых населенных пунктов. Материалы международной конференции. Гурзуф, 2001.
8. Янкаускас П. В. Электрические средства вооружения. М.: Военное издательство, 1989, 163с.

Збірник наукових праць
«Будівництво та техногенна безпека»
8/2003

Сборник научных трудов
«Строительство и техногенная безопасность»
8/2003

Под общей редакцией докт. техн. наук Э.Ф. Панюкова
Технический редактор Л.В. Самусевич

Компьютерная верстка К.А.Янушковский
В.А.Белавский

Компьютерный набор авторский

Подписано в печать 27.11.2003. Формат 60х84 1/8. Гарнитура Times
Усл. п. л. 12 . Тираж 350 экз.

Подготовлено к печати в РИО «Крымской академии природоохранного и
курортного строительства»

Отпечатано в РИО «Крымской академии природоохранного и курортного
строительства»

95019 г. Симферополь,
ул. Киевская, 181 тел. (0652) 22-24-59