www.engstroy.spb.ru

Инженерно-строительный журнал

научно-прикладное издание

ISSN 2071-4726

№2(20) март 2011

СОБЫТИЯ

РАСЧЕТЫ

ОРГАНИЗАЦИЯ

КОНСТРУКЦИИ

МАТЕРИАЛЫ

МЕТОДЫ

ТЕМА НОМЕРА: ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Инженерно-строительный факультет
Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29,
тел/факс: 552-94-60, www.stroikursi.spb.ru.
stroikursi@mail.ru

Приглашает специалистов организаций, вступающих в СРО, на курсы повышения квалификации (72 часа)

Код	Наименование программы	Виды работ*
Курсы по строительству		
БС-01	«Безопасность и качество выполнения геодезических, подготовительных и земляных работ, устройства оснований и фундаментов»	**1,2,3,5**
БС-02	«Безопасность и качество возведения бетонных и железобетонных конструкций»	**6,7**
БС-03	«Безопасность и качество возведения металлических, каменных и деревянных конструкций»	**9,10,11**
БС-04	«Безопасность и качество выполнения фасадных работ, устройства кровель, защиты строительных конструкций, трубопроводов и оборудования»	**12,13,14**
БС-05	«Безопасность и качество устройства инженерных сетей и систем»	**15,16,17,18,19**
БС-06	«Безопасность и качество устройства электрических сетей и линий связи»	**20,21**
БС-08	«Безопасность и качество выполнения монтажных и пусконаладочных работ»	**23,24**
БС-11	«Безопасность и качество устройства подземных сооружений»	**27,28**
БС-12	«Безопасность и качество устройства мостов, эстакад и путепроводов»	**29**
БС-13	«Безопасность и качество выполнения гидротехнических, водолазных работ»	**30**
БС-14	«Безопасность и качество устройства промышленных печей и дымовых труб»	**31**
БС-15	«Осуществление строительного контроля»	**32**
БС-16	«Организация строительства, реконструкции и капитального ремонта. Выполнение функций заказчика-застройщика и генерального подрядчика»	**33**
Курсы по проектированию		
БП-01	«Разработка схемы планировочной организации земельного участка, архитектурных решений, мероприятий по обеспечению доступа маломобильных групп населения»	**1,2,11**
БП-02	«Разработка конструктивных и объемно-планировочных решений зданий и сооружений»	**3**
БП-03	«Проектирование внутренних сетей инженерно-технического обеспечения»	**4**
БП-04	«Проектирование наружных сетей инженерно-технического обеспечения»	**5**
БП-05	«Разработка технологических решений при проектировании зданий и сооружений»	**6**
БП-06	«Разработка специальных разделов проектной документации»	**7**
БП-07	«Разработка проектов организации строительства»	**8**
БП-08	«Проектные решения по охране окружающей среды»	**9**
БП-09	«Проектные решения по обеспечению пожарной безопасности»	**10**
БП-10	«Обследование строительных конструкций и грунтов основания зданий и сооружений»	**12**
БП-11	«Организация проектных работ. Выполнение функций генерального проектировщика»	**13**
Курсы по инженерным изысканиям		
И-01	«Инженерно-геодезические изыскания в строительстве»	**1**
И-02	«Инженерно-геологические изыскания в строительстве»	**2,5**
И-03	«Инженерно-гидрометеорологические изыскания в строительстве»	**3**
И-04	«Инженерно-экологические изыскания в строительстве»	**4**
ПР-09	«Обследование строительных конструкций и грунтов основания зданий и сооружений»	**6**
И-05	«Организация работ по инженерным изысканиям»	**7**

***(согласно приказам Минрегионразвития РФ N 624 от 30 декабря 2009 г.)**

По окончании курса слушателю выдается удостоверение о краткосрочном повышении квалификации государственного образца (72 ак. часа)

Для регистрации на курс необходимо выслать заявку на участие, и копию диплома об образовании по телефону/факсу: 8(812) 552-94-60, 535-79-92, , e-mail: stroikursi@mail.ru.

Http://www.engstroy.spb.ru – полнотекстовая версия журнала в сети Интернет. Бесплатный доступ, обновление с каждым новым выпуском.

Инженерно-строительный журнал
научно-прикладное издание

ISSN 2071-4726

Свидетельство о государственной регистрации: ПИ №ФС77-38070, выдано Роскомнадзором

Специализированный научный журнал

Периодичность: 8 раз в год

Учредитель и издатель:

ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»

Адрес редакции:

195251, СПб, ул. Политехническая, д. 29, Гидрокорпус-2, ауд. 204

Главный редактор:

Вера Михайловна Якубсон

Научный редактор:

Николай Иванович Ватин

Литературный редактор:

Ирина Ипполитовна Смирнова

Редакционный совет:

Академик РАН, д.т.н., проф., президент ГОУ СПбГПУ Ю.С. Васильев;
Член-корр. РАН, д.т.н., проф., проректор ГОУ СПбГПУ по научной и инновационной деятельности А.И. Рудской;
Д.э.н., проф., директор Санкт-Петербургского союза строительных компаний «Союзпетрострой» Л.М. Каплан;
Д.э.н., проф. ГОУ СПбГПУ, генеральный директор группы ЛСР А.И. Вахмистров;
Д.т.н., проф., декан ИСФ ГОУ СПбГПУ А.И. Альхименко и другие. Полный список редсовета и редколлегии – на веб-сайте журнала.

Установочный тираж 1000 экз.

Контакты:

Тел. (812) 297-59-49
E-mail engstroy@inbox.ru
Http://www.engstroy.spb.ru

Содержание

СОБЫТИЯ
Еврокоды в России 2
Диагностика и усиление каменных конструкций 4
Конференция памяти В.Т. Гроздова 6

МЕТОДЫ
Булатов Г.Я., Терехов А.А. Численное моделирование производительности экскаваторов 7
Ватин Н.И., Чечевичкин В.Н., Чечевичкин А.В., Шилова Е.С. Очистка сточных вод узлов мойки бетоносмесительного и бетонотранспортного оборудования 16
Зиневич Л.В. Применение численного моделирования при проектировании технологии обогрева и выдерживания бетона монолитных конструкций 24

МАТЕРИАЛЫ
Кривцов Е.Е., Никулин Н.М., Ясинская Е.В. Исследование характеристик наномодифицированных сухих строительных смесей 29
Гринфельд Г.И., Морозов С.А., Согомонян И.А., Зырянов П.С. Влажностное состояние современных конструкций из автоклавного газобетона в условиях эксплуатации 33

КОНСТРУКЦИИ
Солощенко С.С. Влияние вентилируемого зазора на теплофизические характеристики систем наружного утепления фасадов зданий с применением тонкослойной штукатурки 39
Деркач В.Н., Орлович Р.Б. Вопросы качества и долговечности облицовки слоистых каменных стен 42

ОРГАНИЗАЦИЯ
Лаптева Н.А., Морозова Т.Ф. Оценка рисков при реализации инвестиционно-строительного проекта на примере бизнес-центра 48
Абдуллаев Г.И. Влияние организационно-технологических факторов на эффективность управления строительством сооружений 52

РАСЧЕТЫ
Маркелова Е.А. Технология применения активной примеси при строительстве и эксплуатации подводных трубопроводов 55
Сотников А.Г., Русаков А.П. Математическое моделирование гидравлических режимов балансировки и управления подсистемой нагревания и охлаждения-осушения воздуха в СКВ и СВ 63

ОПРОВЕРЖЕНИЕ
Карпов В.В. О заимствовании материала В.М. Жгутовым из публикаций В.В. Карпова 72

При перепечатке ссылка на издание обязательна

На обложке: строительная площадка Второй сцены Мариинского театра, Санкт-Петербург, Россия

Еврокоды в России

2 марта 2011 г. в ГОУ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет (СПбГПУ) проходил международный семинар «Использование Еврокодов в Российской Федерации: текущее состояние дел и перспективы». Соорганизатором семинара выступил Британский институт стандартов (BSI). Вел семинар д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Технология, организация и экономика строительства» ГОУ СПбГПУ Николай Иванович Ватин.

Основными докладчиками семинара можно назвать Мартина Поляншека, сотрудника лаборатории BSI по структурной оценке в целях защиты и безопасности граждан Объединенного исследовательского центра ЕС, и Сергея Васильевича Пугачева, директора Департамента технического регулирования Национального объединения строителей (НОСТРОЙ). В их выступлениях наиболее полно была освещена существующая ситуация в области внедрения Еврокодов с двух точек зрения: европейской и российской.

М. Поляншек рассказал об идеологии и планах продвижения Еврокодов. По его словам, необходимость внедрения единых нормативных документов диктуется общеевропейским рынком. В соответствии с идеей единого рынка товары, услуги, люди и капитал должны иметь возможность свободно перемещаться, невзирая на межгосударственные границы. Для этого необходимо сформировать гибкое, технологически нейтральное законодательство. Вот почему разработчики Еврокодов стараются уйти от частностей, от конкретных свойств материалов, оставив только принципиальные требования, влияющие на безопасность.

Еврокоды – это система стандартов, и ее разработкой занимается Европейский комитет по стандартизации (CEN). В ведении этого ведомства находится вся европейская промышленность, кроме электротехники и телекоммуникаций. Стандарты проходят несколько этапов разработки, затем валидацию и утверждение, включающее голосование. Что касается применения Еврокодов, то в странах-членах ЕС государственные органы обязаны проводить приемку проектов по этим стандартам. Если в стране по-прежнему действует национальный стандарт, то можно применять либо его, либо Еврокод, пока длится переходный период и национальный стандарт не отменен.

Еврокоды, среди прочего, обеспечивают реализацию европейской директивы Construction Product Directive (CPD). Она включает шесть обязательных требований к строительной продукции и зданиям:

1) механическое сопротивление и устойчивость;
2) безопасность при пожаре;
3) гигиена и охрана окружающей среды;
4) безопасность при эксплуатации;
5) защита от шума;
6) энергоэффективность.

Следуя принципу гибкости, разработчики Еврокодов делят их на две части: обязательную (нормативную) и вариативную. При внедрении в конкретной стране для вариативной части обязательно должны быть разработаны национальные приложения к Еврокоду – NDP. В них прописываются национальные особенности проектирования (такие как снеговые и ветровые нагрузки, сейсмоопасность и т.п.); величины, данные в Еврокоде альтернативно (например, запасы прочности); величины, не указанные в Еврокоде.

Также М. Поляншек отметил, что европейская нормативная система не ограничивается Еврокодами: в нее входят также стандарты для материалов и изделий, технические стандарты (например, на растворные швы), стандарты испытаний.

Ближайшие перспективы для Еврокодов состоят в создании новых в связи с появлением новых материалов, новых областей проектирования, а также в дальнейшем расширении географии применения. По словам М. Поляншека, к 2015 г. планируется включение в зону применения Еврокодов стран бывшего СССР и Северной Африки.

С.В. Пугачев рассказал о перспективах применения Еврокодов в Российской Федерации. Работа в этом направлении началась с Поручения Правительства России №ИШ-П9-4012 от 16.06.2010: рассмотреть возможность применения Еврокодов в России на обязательной основе.

По мнению специалистов, переход на Еврокоды не может быть мгновенным. Сам Европейский Союз переходит на них с 1975 г., и до сих пор этот процесс не завершен. Работа с CEN стран, не входящих в ЕС, осложнена тем, что такой статус (аффилированного партнера по стандартизации) предусматривает отказ от национальных нормативов, но не предусматривает возможности влияния на разработку Еврокодов. Конечно же, такое положение не способствует развитию диалога, и сейчас готовится соглашение между Россией и ЕС, дающее нашей стране специальный статус в этом вопросе.

По мнению С.В. Пугачева, при внедрении Еврокодов в России необходимо использовать только пакетный принцип: оно должно включать разработку национальных стандартов (приложений) и актуализацию существующих нормативов (СНиП) в соответствии с Еврокодами. Такая программа была разработана и одобрена на коллегии Минрегиона, а также в Российском союзе промышленников и предпринимателей. Применение же иностранных стандартов без учета национальных особенностей приводит к авариям и обрушениям – это уже показала практика.

Также для применения Еврокодов в качестве обязательных документов необходима разработка не только национальных приложений, но и поддерживающих документов, таких как стандарты на испытания.

Несмотря на большой объем работы, она идет в НОСТРОЙ довольно быстро. Так, для EN 1990, 1991, 1992 уже проведен сопоставительный анализ с российскими нормами, и к концу 2011 г. планируется разработка национальных приложений. Остальные строительные Еврокоды находятся на стадии технического перевода либо сопоставительного анализа.

После публикации национальных приложений планируется фаза апробации, включающая пилотные проекты и сравнительные расчеты.

Работа по гармонизации российской нормативной базы с европейскими стандартами велась и до 2010 г. Сегодня 30% национальных стандартов уже гармонизированы с Еврокодами.

При этом С.В. Пугачев обратил внимание на то, что Еврокоды не являются исчерпывающей нормативной базой. Возвращаясь к директиве CPD, он отметил, что Еврокоды обеспечивают только два пункта ее требований: механическое сопротивление и устойчивость и частично безопасность при пожаре. Российский же технический регламент оговаривает реализацию всех шести обязательных требований директивы. Поэтому полностью заменить российскую нормативную базу Еврокоды не могут.

Также С.В. Пугачев обратил внимание на такие необходимые при внедрении Еврокодов шаги, как обновление испытательной базы и обучение профессорско-преподавательского состава строительных вузов и экспертов.

В.М. Якубсон

Диагностика и усиление каменных конструкций

В ГОУ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет (СПбГПУ) прошла серия авторских семинаров д.т.н., профессора Западно-Поморского Технологического университета Ромуальда Болеславовича Орловича по теме обследования, ремонта и усиления каменных конструкций (также см.: Белов В.В., Деркач В.Н. Экспертиза и технология усиления каменных конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2010. №7(17). С. 14-20).

На первом семинаре, прошедшем 28.12.2010, освещались методы диагностики каменных стен зданий и сооружений. Такие стены представляют собой сложный объект обследования, поскольку состоят из двух разнородных материалов: камня и раствора. Наиболее надежными методами Р.Б. Орлович признает разрушающие, среди которых выделяет два.

1. Вырезание больших цилиндров кладки диаметром от 200 мм. Минусом является как сам факт извлечения крупного фрагмента кладки, так и то, что образцы часто разрушаются из-за слабых растворных швов.
2. Flat Jack – «полуразрушающий» метод. В стене делаются пропилы, в них вставляются гидравлические подушки, которые доводят элемент конструкции между ними до полуразрушения (появления трещин). Для этого метода необходимы поправочные коэффициенты, которые предоставляет производитель оборудования.

Среди неразрушающих методов Р.Б. Орлович выделяет акустический (Impact-Echo) и ультразвуковой. Докладчик отметил, что ультразвуковой метод оценивает прежде всего однородность конструкции, а прочность может определить лишь косвенно. Количественно определить прочность ультразвуковым методом можно, лишь используя коэффициенты корреляции. В связи с этим ультразвуковой метод рекомендуется использовать только для новых конструкций, а также на кирпичных заводах.

На втором семинаре 2 марта 2011 г. Р.Б. Орлович совместно с Валерием Николаевичем Деркачом, к.т.н., заместителем директора филиала РУП «Институт БелНИИС», рассказывал об усилении и реставрации каменных конструкций. В качестве основного требования при усилении и реставрации любых конструкций Р.Б. Орлович отметил совместимость (компатибильность) материалов по различным свойствам. В связи с этим наилучшим материалом для реставрации является тот, из которого сделана конструкция, в данном случае камень. Но переборка части стены не всегда возможна, а иногда также не дает требуемых результатов – необходимо использовать не просто кирпич, а кирпич того же цвета, тех же свойств и т.п.

Р.Б. Орлович рассмотрел несколько наиболее популярных способов усиления каменных конструкций. Одним из таких методов является инъецирование трещин, которое по своей сути не является усилением конструкции. Заполнение трещин дает только уплотнение швов. При этом необходимо уделять внимание составам, которыми производится инъецирование: они также должны быть совместимыми с существующей кладкой. (См. об этом: Курлапов Д.В., Куваев А.С., Родионов А.В., Валеев Р.М. Инъецирование как метод усиления каменных конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2009. №3. С. 17-21).

Другим популярным в последнее время способом усиления является использование композиционных материалов (см.: Дьячкова А.А., Кузнецов В.Д. Расчет усиления железобетонных плит углеродными композиционными материалами // Инженерно-строительный журнал. 2009. №3. С. 25-28; Морозова Т.С., Кузнецов В.Д. Внешнее армирование железобетонных колонн композиционным материалом на основе углеволокон // Инженерно-строительный журнал. 2010. №3. С. 35-38). Р.Б. Орлович отметил, что необходимо внимательно относиться к свойствам конкретного материала, знать, как он работает. Универсальных материалов не бывает – у каждого есть свои особенности. Также, как известно, слабой стороной усиления углепластиками являются клеи и растворы, которыми материал крепится к конструкции. Именно состав этих растворов является ключевым ноу-хау и отличием между различными системами усиления.

Среди способов усиления на семинаре было отмечено и преднапряжение (см. Кишиневская Е.В., Ватин Н.И., Кузнецов В.Д. Усиление строительных конструкций с использованием постнапряженного железобетона // Инженерно-строительный журнал. 2009. №3. С. 29-32). Р.Б. Орлович рекомендует использовать запас при расчете диаметра стержней: поскольку неизвестны условия работы, необходимо учитывать возможность коррозии и т.п.

Главной же рекомендацией при усилении каменных и любых других конструкций является борьба с причиной появления трещин. Зачастую это ослабление основания, но не всегда. Если проблема состоит в фундаменте, то необходимо усиливать его. Для этого используются такие технологии как jet-grouting (введение цемента в грунт) и микросваи. По мнению докладчика, использование микросвай – значительно более щадящий метод, позволяющий работать в исторической застройке.

Статью Р.Б. Орловича и В.Н. Деркача см. на стр. 42.

В.М. Якубсон

®

Генеральный деловой партнер ООО «Ремикс»

Организаторы: Союз реставраторов Санкт-Петербурга

СРО НП « Национальное объединение производителей и поставщиков строительных материалов» (НП «СМ»)

Инновационный центр «Северо-Запад».

20 апреля 2011года

состоится научно-практическая конференция

«Реставрация памятников архитектуры в Северо-Западном регионе. Влияние температурно-влажностного режима на сохранность интерьеров и фасадов»

Конференция состоится в Торгово-Промышленной Палате по адресу:
Санкт-Петербург, ул. Чайковского, дом 46-48, конференц-зал, 2-й этаж

Начало регистрации – 10.30
Начало конференции – 11.00

Сохранение культурного наследия, в том числе и памятников архитектуры, является неотъемлемой составляющей национальной политики государства. Утрату каждого памятника следует рассматривать как утрату элемента национального самосознания.

В Северо-Западном регионе России, несмотря на прошедшие войны и социально-политические потрясения XX века, сохранилось большое число памятников архитектуры. Многие памятники уже отреставрированы, но большая часть ждёт своей очереди. Нельзя допускать, чтобы отреставрированные памятники нуждались в очередной реставрации уже через 1-2 года после завершения работ. Практически во всех исторических зданиях поменялись системы отопления и вентиляции. Температурно-влажностный режим в здании и в отдельных помещениях во многом определяет сохранность памятников.

Целью научно-практической конференции является обсуждение насущных научных проблем в реставрации, обмен опытом практических реставрационных работ, ознакомление с новыми реставрационными технологиями и материалами. Особое внимание будет уделено вопросам обеспечения нормального температурно-влажностного режима в исторических зданиях.

На Конференцию приглашаются в качестве участников и слушателей: КГиОП, представители специалистов Администраций Северо-Западного региона, реставрационные, строительные, архитектурные, проектные компании, компании производители и поставщики строительных и отделочных материалов и технологий Северо-Западного региона.

В рамках Конференции будет представлена выставка современных реставрационных и ремонтно-строительных материалов и технологий.

По вопросам участия в Конференции обращаться в ООО «Балтийский деловой строительный клуб»

по тел./факс: (812) 571-91-53, (812) 575-55-17, по E-mail: Bdsk-spb@mail.ru

Контактное лицо – Гольцова Ольга, м.т. (812) 952-44-52

Конференция памяти В.Т. Гроздова

24 марта в ГОУ Военный инженерно-технический институт (ВИТИ) прошла XV научно-методическая конференция «Дефекты зданий и сооружений. Усиление строительных конструкций», посвященная памяти профессора Вячеслава Тихоновича Гроздова. В.Т. Гроздов был создателем и вдохновителем конференции, и многие докладчики 2011 г. вспоминали свое общение или совместную работу с ним.

Традиционно одной из ведущих тем конференции стали железобетонные конструкции. Так, доклад Сергея Валерьевича Демишина, научного сотрудника Филиала ОАО «26 Центральный научно-исследовательский институт» (26 ЦНИИ) в Санкт-Петербурге, был посвящен влиянию внешнего армирования на образование трещин в изгибаемых железобетонных элементах. В исследовании рассматривалось как традиционное усиление стальными элементами, так и усиление углепластиком.

В двух докладах освещалась диагностика железобетонных плит на продавливание и вопросы их усиления. Такая проблема зачастую возникает, когда уже после постройки меняется функциональное назначение здания или по другой причине сильно увеличиваются нагрузки. Инженер Научно-исследовательского, проектно-конструкторского и технологического института бетона и железобетона (НИИЖБ им. А.А. Гвоздева) А.З. Сокуров выделил в своем докладе следующие основные методы усиления плит при продавливании:

- устройство капители;
- устройство «набетонки» – утолщение плиты;
- устройство вертикальных поперечных стержней;
- устройство наклонных стержней.

Александр Ильич Плотников, к.т.н., профессор ГОУ Московский государственный строительный университет (МГСУ), в своем исследовании использовал для усиления монолитного безбалочного перекрытия «шпильки» – вертикальные стержни с анкерными шляпками по концам. По его мнению, усиление построенного здания шпильками по крестообразной схеме, хотя и является нестандартным решением, экономически выгодно и надежно. В процессе исследования был проведен натурный эксперимент, в котором разрушались 5 фрагментов плиты, в том числе усиленный вертикальной арматурой. Эксперимент показал, что разрушение происходит от сочетания продавливания и разрушения по наклонному сечению в результате потери анкеровки продольной арматуры.

В докладе к.т.н., профессора ГОУ МГСУ Анатолия Ивановича Бедова рассматривалась популярная в последние годы конструкция, включающая железобетонные панели, утеплитель и облицовочный кирпич. В своем выступлении он описал основные проблемы, возникающие в таких зданиях в Москве. В качестве основных причин, вызывающих разрушение лицевого слоя, А.И. Бедов назвал наличие промежуточного слоя утеплителя, который намокает, разрушается и т.п., а также отсутствие горизонтальных деформационных швов. Подробнее на эту тему см. статью В.Н. Деркача и Р.Б. Орловича на стр. 42.

Среди других вопросов на конференции была освещена и диагностика стальных конструкций. Так, в докладе магистранта ГОУ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет (СПбГПУ) Галины Андреевны Кукушкиной рассматривалось влияние сварочных напряжений и деформаций на конструкцию при ее усилении. В процессе исследования было получено, что влияние сварки достаточно велико, и рассматривались различные способы его оценки. В том числе, было предложено использование резистивного электроконтактного метода (см.: Улыбин А.В., Кукушкина Г.А. Особенности применения резистивного электроконтактного метода для контроля напряженно-деформированного состояния стальных конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2010. №3. С 32-34).

Особым разделом на конференции были вопросы диагностики и реставрации объектов культурного наследия. Сергей Николаевич Савин, д.т.н., доцент Филиала ОАО «26 ЦНИИ», рассказывал о ходе обследования Кронштадтского Морского собора. В докладе ведущего инженера-конструктора ООО «Строй-Форт» Екатерины Валерьевны Елизаровой освещались некоторые вопросы реставрации Главного Штаба.

В.М. Якубсон

Численное моделирование производительности экскаваторов

К.т.н., доцент Г.Я. Булатов*;
инженер А.А. Терехов,
ГОУ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Ключевые слова: выбор экскаваторов; прямая лопата; эксплуатационная производительность; ширина забоя.

Вызываемая общим развитием технического прогресса необходимость прогнозирования технологических процессов требует нахождения связей между параметрами этих процессов. Однако процесс может протекать в различных режимах, и представляется весьма важным отыскание области определяющих параметров, отвечающих оптимальному режиму протекания технологического процесса. Эти проблемы в той или иной степени освещались во всем списке литературы [1-15]. Оптимизация технологических процессов несет с собой существенный экономический эффект уже только потому, что не требует каких-либо дополнительных капиталовложений для реализации. Так, например, только за счет изменения на несколько метров ширины забоя, разрабатываемого экскаватором, можно существенно увеличить производительность землеройных машин. Учитывая же громадные объемы землеройных работ (по данным академика А.Л. Яншина эти объемы в мире составляют около 60 *км*^{3}/*год* (объемы вулканической деятельности – 16)), общий эффект от оптимизации будет значительным. И, если не считать затрат на постановку задачи и соответствующие расчеты, все это легко достигается. Ниже рассматривается аналогичная задача на примере экскаватора «прямая лопата».

1. Критерии выбора экскаваторов

Для выбора оптимального варианта используем обобщенные критерии [1,2,3]. Критерии выбора экскаватора типа «прямая лопата» следующие:

IV-1: по объему ковша, т.е. $q_в \geq q_т$,

где q – геометрический объём ковша (возможный и требуемый).

Таблица 1

Объем выемки $V_т$, м3:	Рекомендуемый объем ковша экскаватора $q_т$, м3:
до 2500	0,4…0,65
до 5000	1…1,25
до 25000	1,6…2,5

Кроме того, рекомендуется выполнение следующих критериев:

III-1: по высоте копания грунта, т.е. $H_B \geq H_T$ при $H_B = \eta_{HB} \cdot H_{HB}$ и $H_B = H_P \cdot \eta_P$ и $H_T = H$,

где $H_{нв}$ – высота напорного вала экскаватора; H – требуемая высота забоя (яруса) разработки грунта;
$\eta_{нв}$ – коэффициент использования высоты напорного вала [4];
H_P и η_P – высота резания (копания) грунта и коэффициент ее использования (0,85…1,0), для сыпучих грунтов он не ограничен;

III-2: по высоте наполнения ковша, т.е. $H_B \geq H_T$, при $H_T \geq H_{НК}$,

где $H_{нк}$ – высота наполнения ковша [2];

III-3: по высоте выгрузки грунта, т.е. $H_{BB} \geq H_{TB}$ при $H_{TB}=H_{тр}+\Delta H+\Delta h$,

где H_{BB} – высота выгрузки при требуемом радиусе выгрузки R_{BB}, по $H_{BB} = f(R_{BB})$; $H_{тр}$ – высота кузова автосамосвала; ΔH – разница в уровнях стоянки машин; Δh – запас высоты (0,5…1м).

Выбор и расчеты числа самосвалов приведены в [3], [5] и [2].

2. Методика расчета эксплуатационной производительности и оптимальной ширины забоя одноковшового экскаватора

Рассматриваем работу экскаватора «прямая лопата» в боковом ярусном забое при погрузке грунта на автосамосвалы [4], [6]. Здесь одним из основных параметров является ширина забоя B, которая и влияет на производительность экскаватора. При этом существует оптимальная ширина забоя, отклонение от которой,

как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения, ведет к снижению производительности экскаватора. Отыскание оптимальной ширины забоя, обеспечивающей максимум производительности, и является целью приведенного решения.

Техническую часовую производительность экскаватора запишем в виде [7]:

$$П^{Т} = \frac{Q_{Ц}}{T_{Ц}}, \quad (1)$$

где $Q_{Ц}$ – объем грунта в ковше, приведенный к естественной плотности в выемке [4];

$T_{Ц}$ – продолжительность цикла экскавации.

$$Q_{Ц} = q \cdot K_{З}, \quad (2)$$

при

$$K_{З} = \left(K_{Н} / K_{Р}\right) \cdot K_{С} \cdot K_{\alpha} \cdot \eta_{В} \cdot \ldots, \quad (3)$$

где q – геометрический объем ковша; $K_{З}$ – коэффициент заполнения ковша грунтом; $K_{Н}$ – коэффициент наполнения; $K_{Р}$ – коэффициент разрыхления грунта; $K_{С}$ – коэффициент сохранности грунта при переносе [4]; K_{α} – коэффициент, учитывающий влияние уклона местности; $\eta_{В}$ – коэффициент эффективности выгрузки ($\eta_{В} \cong 1{,}0$).

Эксплуатационная производительность:

$$П^{Э} = П^{Т} \cdot K_{В}. \quad (4)$$

Коэффициент использования рабочего времени $K_в$ для экскаватора «прямая лопата» можно уточнить по [7,8,4,1,6]. Здесь его находим по формуле [9]:

$$K_{В} = \frac{1 - \sum \theta_{j}}{1 + \sum \theta_{i}}, \quad (5)$$

где θ_i – относительная производительность основных работ;

θ_j - относительное время выполнения прочих работ *j*-го рода.

$$\theta_{j} = \frac{T_{j}}{T_{oj}}, \quad (6)$$

где T_j – время выполнения прочей работы *j*;

T_{oj} – промежуток полного времени работ, к которому относится T_j.

j = 1 – ежечасный отдых оператора, например: T_1=5мин, T_{o1}=1час;

j = 2 – полусменный отдых: T_2=5мин, T_{o2}=4часа;

j = 3 – ежесменный отдых: T_3=5мин, T_{o3}=8часов.

$$\theta_{i} = \frac{П^{Т}}{П_{i}}, \quad (7)$$

где $П_i$ – условная производительность выполнения прочих работ *i*-го вида.

$$П_i = \frac{W_i}{T_{пi}}, \quad (8)$$

где $T_{пi}$ – абсолютное время выполнения прочей *i*-й работы;
W_i – объем основных работ, выполненных до начала выполнения прочей *i*-й работы.

i = 1 – учет времени на замену автомобилей-самосвалов перед экскаватором:

$$T_{п1}=T_{МП}, \quad (9)$$

$$W_1 = Q_Ц \cdot m, \quad (10)$$

где $T_{МП}$ – время маневра самосвала перед погрузкой (0,5…2 мин), включая перерывы в подаче самосвалов;
$Q_Ц$ – объем грунта в ковше экскаватора, приведенный к плотному состоянию выемки;
m – число ковшей с грунтом, подаваемых на один самосвал.

i = 2 – учет времени на переход экскаватора с одной стоянки на другую:

$$T_{п2}=T_{ПЕР}, \quad (11)$$

$$W_2 = l_П \cdot H \cdot B, \quad (12)$$

где $T_{ПЕР}$ – время, затрачиваемое на одну передвижку экскаватора (1…4 мин); W_2 – объем грунта, разрабатываемый с одной стоянки экскаватора; $l_П$ – длина передвижки экскаватора; B – ширина забоя; H – высота забоя.

i = 3 – переход на другой забой; *i = 4* – переход на другой ярус и т.д.

$$B = 2 \cdot \left(2 \cdot R \cdot \sin \beta / 2 - a\right), \quad (13)$$

где R – средний расчетный радиус копания (при заборе грунта);
β – средний расчетный угол поворота экскаватора на выгрузку (рад).

Частная ширина рабочей зоны экскаватора:

$$a = a_0 + a_T \text{ при } a_0 = H \cdot ctg\alpha \text{ и } a_T = b_T/2 + \Delta a_T, \quad (14)$$

где a_0 – эксцентриситет забоя; a_T – расстояние от границы забоя до оси транспортного хода; b_T – ширина транспортного средства; Δa_T – запас ширины (0,5...1,0м); α – расчётный угол откоса элемента забоя (50…75˚).

$$T_Ц = K_Ц \cdot \beta + T_0. \quad (15)$$

Ниже приведены справочные эмпирические зависимости [4]:

$$\begin{gathered} T_0 = K_{TP} \cdot 2{,}7 \cdot \sqrt[4]{M_Э} + 2 + 0{,}5 \cdot R_P, \text{ с} \\ K_Ц = 0{,}45 \cdot R_P, \text{ с/рад} \\ l_П = 0{,}5 \cdot H_{HB}, \text{ м} \\ H = \eta_{HB} \cdot H_{HB}, \text{ м} \\ H_{HB} = 1{,}5 \cdot \sqrt[4]{M_Э}, \text{ м} \\ R = R_B - 0{,}5 \cdot l_П, \text{ м} \end{gathered} \quad (16)$$

Здесь K_{TP} – коэффициент трудности разработки грунта (0,55…1,0); $M_Э$ – масса экскаватора,т; R_P – максимальный радиус копания грунта; η_{HB} – относительная высота забоя (1,0…1,2); H_{HB} - высота напорного вала на стреле экскаватора; R_B – максимальный радиус выгрузки; *H* – рекомендуемая высота забоя (может иметь и другую величину, например полученную из условия разбивки выемки на отдельные ярусы разработки, при этом расчётная высота забоя будет принята в соответствии с конкретной разбивкой) [4].

Из геометрических соотношений имеем предельные величины для ширины забоя (теоретический максимум и технологический минимум).

$$B_{\substack{MAX\\ TEOP}} = \frac{2}{3}\left[2\cdot(\sqrt{R_{CT}^2 - l_{\Pi}^2} + a_O) - a\right], \tag{17}$$

$$B_{\substack{MIN\\ TEXH}} = \frac{m\cdot Q_{Ц}}{l_{\Pi}\cdot H},\ B_{MIN} = b_{\text{КОВША}}, \tag{17а}$$

где $R_{ст}$ – максимальный радиус копания грунта на уровне стоянки экскаватора.

При малых B рекомендуется проверить, не касается ли платформа экскаватора откосов забоя. Проверка легко выполняется графически на плане забоя или по условию:

$$B_{\substack{MIN\\ ГЕОМ}} = 2\cdot r_{XB}, \tag{17б}$$

где $r_{хв}$ – радиус хвостовой части экскаватора.

Абсолютная максимальная ширина забоя (физический максимум) и её технологический максимум

$$\boxed{B_{\substack{MAX\\ ФИЗ}} = \sqrt{R_{CT}^2 - l_{\Pi}^2} + R_B - a_T}, \tag{17в}$$

$$B_{\substack{MAX\\ TEX1}} = 2\sqrt{R_{CT}^2 - l_{\Pi}^2} \text{ или } B_{\substack{MAX\\ TEX2}} = 2R_{\text{СТ}}, \tag{17г}$$

где $R_в$ – максимальный радиус выгрузки.

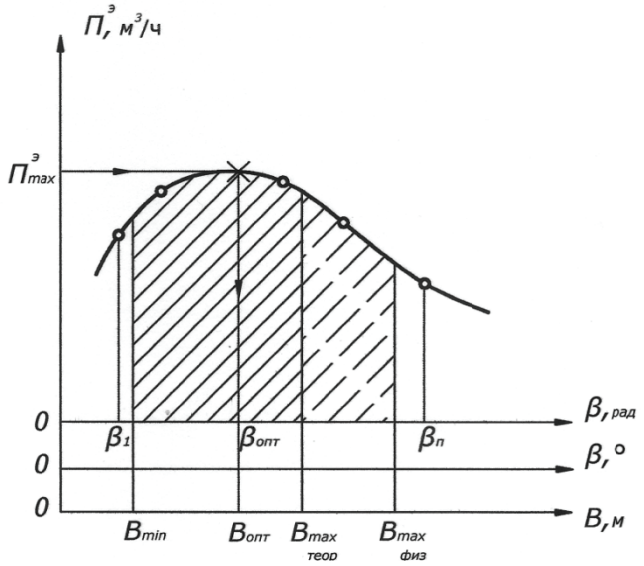


Рисунок 1. График функции $П^э=f(\beta,B)$

Задавая ряд величин β_i, находят соответствующие им производительности $П^э$ и строят график функции $П^э=f(\beta,B)$, представленный на рис. 1, по которому находят оптимальный угол поворота экскаватора $\beta_{опт}$, соответствующий максимуму эксплуатационной производительности $П^э_{max}$. По величине $\beta_{опт}$ находят остальные технологические параметры, в том числе оптимальную ширину забоя $B_{опт}$ и уточняют расчетом величину $П^э_{max}$ [4]. Схема оптимального забоя представлена на рис. 2.

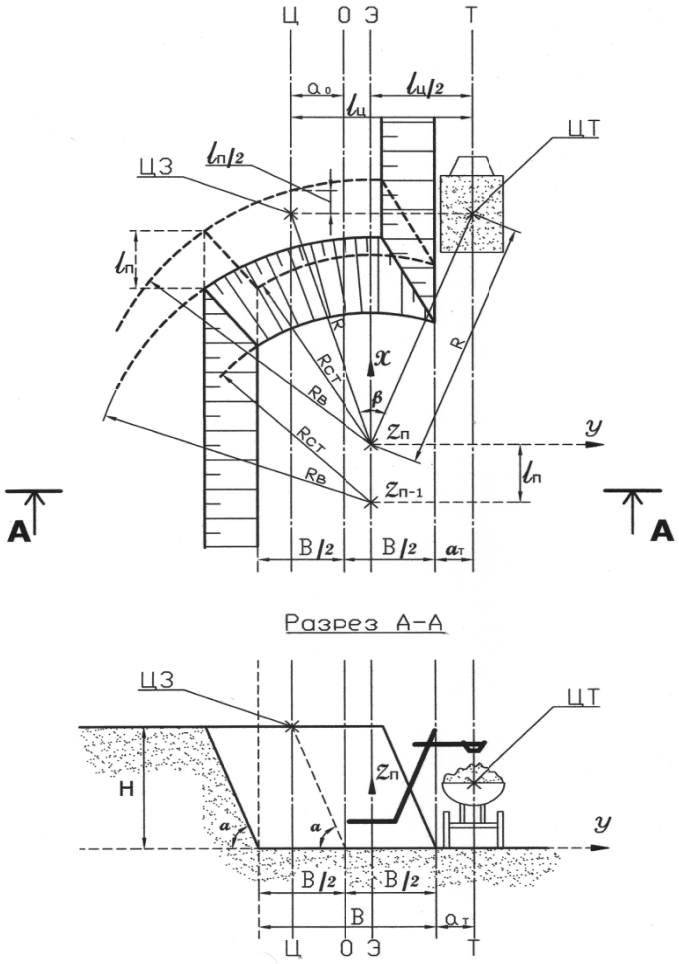


Рисунок 2. Схема оптимального забоя

3. Исходные данные для расчета

Наименование и группа грунта: супесь с примесью щебня, гравия, гальки в объеме до 10%, группа II; m_K=7 *шт.*; $T_{МП}$ = 30 *с*; $T_{ПЕР}$ = 90 *с*; V_T = 56670 *м*^{3}; $\rho_{ЕСТ}$ = 1850 *кг/м*^{3}; размеры котлована по низу *28 м × 40 м*; H_K=13,61 *м*, котлован разбит на 3 яруса, максимальная высота яруса *4,775 м*.

Был выбран экскаватор Э-2505 (прямая лопата с гибкой подвеской рабочего оборудования).

Характеристики выбранного по [3] экскаватора приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Показатель	Э-2505
Емкость ковша, м^3	*3,2*
Длина стрелы, м	*8,6*
Длина рукояти, м	*6,1*
Угол наклона стрелы, град	*45*
Наибольший радиус копания, м	*12,0*
Наибольшая высота разгрузки, м	*6,4*
Радиус разгрузки при наибольшей высоте разгрузки, м	*10,2*
Наибольший радиус разгрузки, м	*10,8*
Высота копания при наибольшем радиусе разгрузки, м	*3,5*
Наибольшая высота копания, м	*9,0*
Глубина копания ниже уровня стоянки, м	*2,8*
Радиус копания на уровне стоянки, м	*7,2*
Масса экскаватора (конструктивная), т	*94*
Продолжительность рабочего цикла при угле поворота *90*^{0}, с	*22,0*

По **III-1:** ***9·0,85 ≥ 4,775 м***, условие выполняется (для супеси η_p***=0,85*).

По **III-2:** ***4,775 ≥ 3,5 м***, условие выполняется (при *q* = *3,2 м*^{3}, для грунта II категории $H_{нк}$ ***= 3,5м***).

По **III-3:** ***6,4 ≥ 3,46+0+1 = 4,46 м,*** условие выполняется.

4. Расчеты и результаты

По формуле (3) $K_з$ = *(1,1/1,15)*1*1*1 = 0,95.*

K_H =1,1, K_P =1,15, K_C =1, $K\alpha$ =1.

По формуле (2) $Q_ц$ = *3,2*0,95 = 3,04 м*^{3}.

j=1: $\theta_1 = \frac{T_1}{T_{o1}} = \frac{5}{60} = 0{,}08$.

j=2: $\theta_2 = \frac{T_2}{T_{o2}} = \frac{5}{240} = 0{,}02$.

j=3: $\theta_3 = \frac{T_3}{T_{o3}} = \frac{5}{480} = 0{,}01$.

i=1: по формуле (9) $T_{п1}$=$T_{МП}$ = *30 сек.*

По формуле (10) $W_1 = 3{,}04 * 7 = 21{,}28 м^3$.

По формуле (8) $П_1$ = *21,28/30=0,71 м*^{3}*/с.*

i=2: по формуле (11) $T_{п2}$=$T_{ПЕР}$ = *90 сек.*

По формуле (14): $a = 2{,}66 + 2{,}40 = 5{,}06 м$,

при $a_0 = 4{,}67 * 0{,}57 = 2{,}66 м$

$$a_T = 3{,}787/2 + 0{,}5 = 2{,}40 м.$$

По формуле(16): $T_0 = 1*2{,}7*\sqrt[4]{94} + 2 + 0{,}5*12 = 16{,}4$ с;

$$K_Ц = 0{,}45*12 = 5{,}4 \text{ с/рад;}$$

$$l_П = 0{,}5*4{,}66 = 2{,}34 \text{ м;}$$

$$H = 1*4{,}67 = 4{,}67 \text{ м;}$$

$$H_{НВ} = 1{,}5*\sqrt[4]{94} = 4{,}67 \text{ м;}$$

$$R = 10{,}8 - 0{,}5*2{,}34 = 9{,}63 \text{ м.}$$

По формуле(17) $B_{\substack{MAX\\ ТЕОР}} = \frac{2}{3}\left[2\cdot(\sqrt{7{,}2^2 - 2{,}34^2} + 2{,}66) - 5{,}06\right] = 5{,}8 м$

По формуле(17а) $B_{\substack{MIN\\ ТЕХН}} = \frac{7\cdot 3{,}04}{2{,}34\cdot 4{,}67} = 2{,}0 м$

По формуле(17в): $B_{\substack{MAX\\ ФИЗ}} = \sqrt{7{,}2^2 - 2{,}34^2} + 10{,}8 - 2{,}4 = 15{,}2 м$;

$$B_{\substack{MAX\\ ТЕХ}} = 2\sqrt{7{,}2^2 - 2{,}34^2} = 13{,}6 м.$$

Таблица 3. Зависимость П^э=f(β, B)

$П_э$, м^3/ч	$П_т$, м^3/с	$Т_ц$,с	$К_В$	$Θ_1$	$П_2$	$Θ_2$	∑θ	B, м	sin β/2	β°	β, рад
298	0,151	20	0,550	0,212	0,370	0,407	0,620	3,1	0,342	40	0,698
321	0,147	21	0,605	0,207	0,560	0,263	0,470	4,6	0,383	45	0,785
331	0,144	21	0,638	0,203	0,746	0,193	0,396	6,2	0,423	50	0,873
334	0,141	22	0,659	0,198	0,929	0,152	0,350	7,7	0,462	55	0,960
335	0,138	22	0,675	0,194	1,107	0,124	0,319	9,1	0,500	60	1,047
334	0,135	23	0,687	0,190	1,281	0,105	0,295	10,6	0,537	65	1,134
332	0,132	23	0,697	0,186	1,451	0,091	0,277	12,0	0,574	70	1,222
329	0,130	23	0,705	0,182	1,615	0,080	0,263	13,3	0,609	75	1,309
325	0,127	24	0,712	0,179	1,774	0,072	0,250	14,6	0,643	80	1,396
322	0,125	24	0,718	0,175	1,927	0,065	0,240	15,9	0,676	85	1,484
318	0,122	25	0,723	0,172	2,074	0,059	0,231	17,1	0,707	90	1,571
314	0,120	25	0,728	0,169	2,215	0,054	0,223	18,3	0,737	95	1,658
310	0,118	26	0,732	0,166	2,349	0,050	0,216	19,4	0,766	100	1,745

Проведем анализ оптимальных значений параметров $Т_{ПЕР}$, $Т_{МП}$, $m_К$.

Для анализа $m_К$ построим графики зависимости П^э=*f*($m_К$) при $Т_{ПЕР}$=60;90;120;150 с., $Т_{МП}$=30 с. и при $Т_{МП}$=30;60;90;120 с., $Т_{ПЕР}$=90 с.

Для анализа $Т_{ПЕР}$ построим графики зависимости П^э=*f*($Т_{ПЕР}$) при $m_К$=1;2;3;4;5;6;7;8;9;10, $Т_{МП}$=30 с. и при $Т_{МП}$=0;30;60;90;120 с., $m_К$=7.

Для анализа $Т_{МК}$ построим графики зависимости П^э=*f*($Т_{МК}$) при $m_К$=1;2;3;4;5;6;7;8;9;10, $Т_{ПЕР}$=90 с. и при $Т_{ПЕР}$=0;60;90;120;150 с., $m_К$=7.

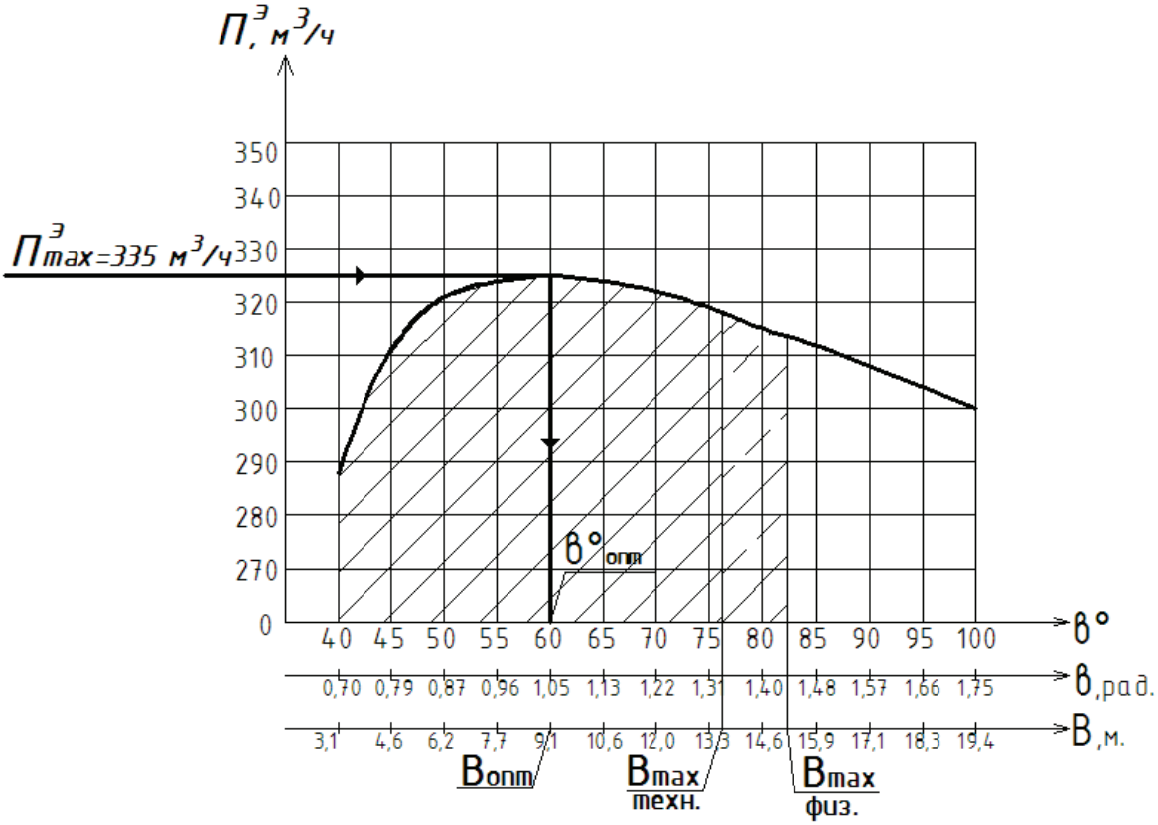


Рисунок 3. Зависимость $П^э$=f(β, B)

Для каждой точки графиков необходимо провести оптимизацию ширины забоя, чтобы эксплуатационная производительность была максимальна для данных параметров точки. Оптимизация ширины забоя выполняется автоматически с помощью программы Microsoft Excel, построение в ней графиков выполняется тоже автоматически.

Пример построения одного графика (например, $П^э=f(m_K)$ при $T_{ПЕР}$= 60 с. и $T_{МП}$=30 с.) с оптимизацией ширины забоя в каждой точке графика приведен ниже.

Расчет ширины забоя ведется в таблице, аналогичной табл. 3, только в первой колонке добавлена еще одна ячейка, в которой задана функция =MAX (первое значение в колонке; последнее значение в колонке) которая определяет максимальное значение $П^э$. Так проводится расчет для каждой точки графика (m_K=1;2;3;4;5;6;7;8;9;10). Значения $П^э_{max}$ сводятся в таблицу (пример – табл. 4) по значениям которой строится $П^э=f(m_K)$ (рис. 4).

Таблица 4.

Тпер=60 сек	
Тмп=30 сек	
Пэ	mk
181	1
251	2
289	3
312	4
327	5
339	6
347	7
354	8
359	9
364	10

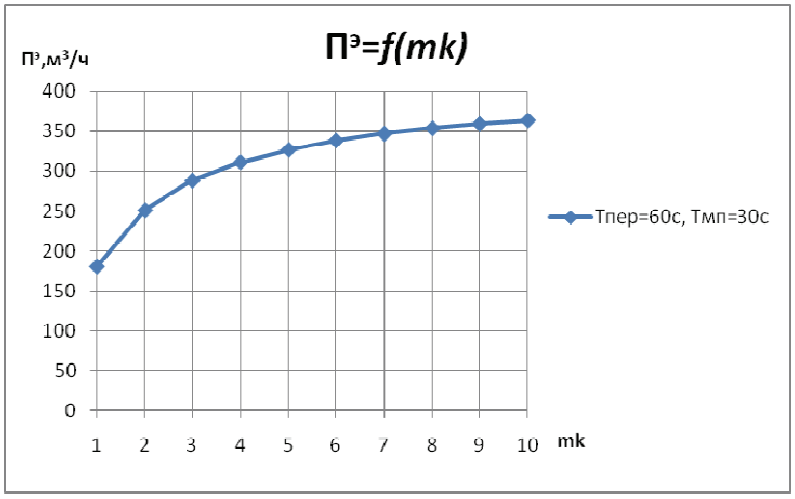


Рисунок 4. График $П^э=f(m_K)$ при $T_{ПЕР}$= 60 с. и $T_{МП}$=30 с.

Далее проводим аналогичные операции при других значениях $T_{ПЕР}$=90;120;150 с. и сводим полученные графики в один, см. рис. 5.

График на рис. 6 построен при $T_{ПЕР}$=90 с.=const. и $T_{МП}$=30;60;90;120 с.

Аналогичным образом выполняются графики $П^э=f(T_{ПЕР})$ и $П^э=f(T_{МК})$, они приведены ниже (см. рис. 7,8 и рис. 9,10).

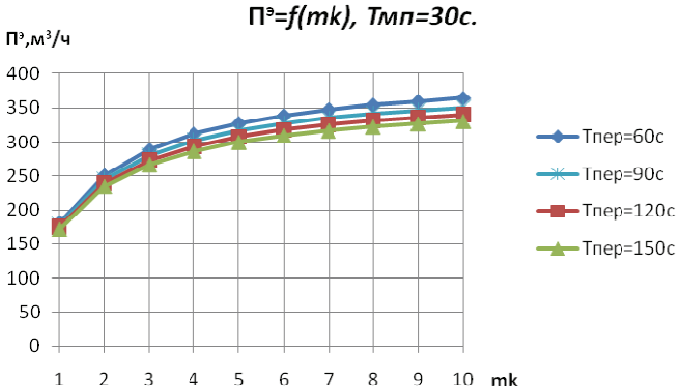


Рисунок 5. $П^э=f(m_K)$ при $T_{МП}$=30 с.

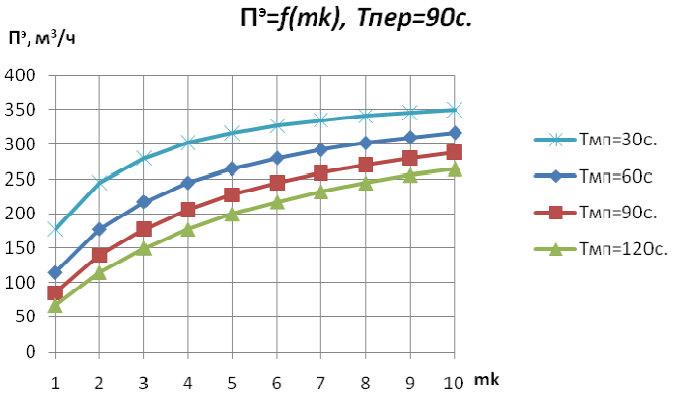


Рисунок 6. $П^э=f(m_K)$ при $T_{ПЕР}$=90 с.

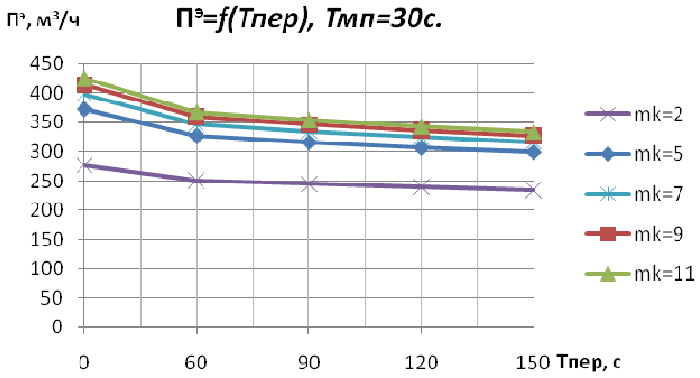


Рисунок 7. $П^э=f(Тпер)$ при $T_{МП}$=30 с.

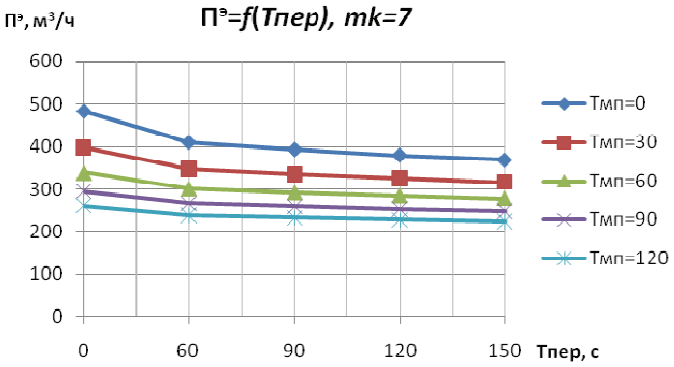


Рисунок 8. $П^э=f(Тпер)$ при mk=7

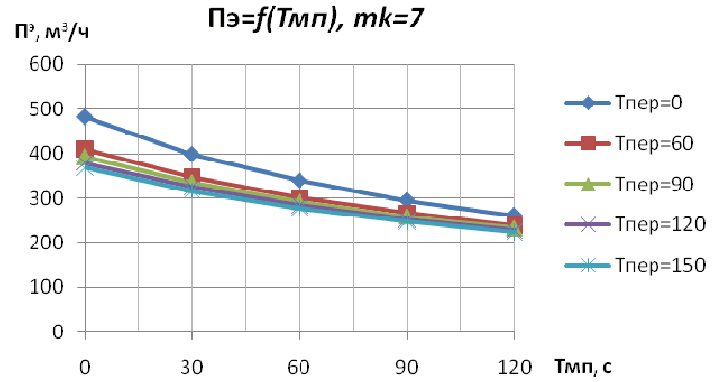


Рисунок 9. $П^э=f(Тмп)$ при mk=7

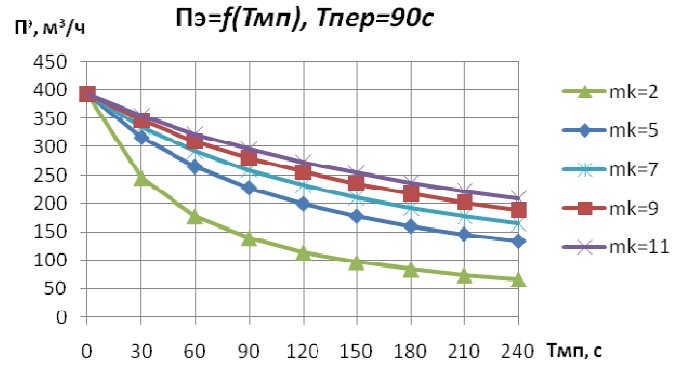


Рисунок 10. $П^э=f(Тмп)$ при Тпер=90 с.

5. Выводы и рекомендации

В результате проделанной работы было получено 6 графиков, которые наглядно показывают связь параметров экскавации $T_{ПЕР}$, $T_{МП}$, m_K.

Из рис. 5 и 6 можно однозначно утверждать, что m_K=7 является оптимальным для максимальной эксплуатационной производительности с учетом технико-экономического обоснования дальнейшего увеличения m_K (мы получаем незначительный прирост производительности). Из этого следует, что выбор автосамосвала должен осуществляться исходя из его вместимости (m_K=7).

Из рис. 6 и 10 видно, что m_K=7 соответствует довольно высокому значению $П^э$, особенно в интервале $T_{МП}$≤30 с. При этом дальнейшее уменьшение $T_{МП}$ дает значительное увеличение $П^э$ (снижение $T_{МП}$ от 30 с до 0 с дает увеличение $П^э$ на 25 $м^3$/ч). Уменьшение $T_{ПЕР}$ тоже дает значительный результат ($T_{ПЕР}$ =20-30 с).

Полученные графики также дают возможность оценить возможность повышения эксплуатационной производительности одноковшовых экскаваторов типа «прямая лопата» при различных условиях производства работ, а также продолжить оптимизацию экскавации. Данная методика расчета также позволяет создать программу автоматизированного расчета максимальной эксплуатационной производительности экскаватора при конкретных условиях производства работ.

Литература:

1. Булатов Г. Я. Введение в общую теорию технологий (на примере строительства): Учеб. пособие. СПб. : Изд-во СПбГПУ, 2003. 175 с.
2. Галузин В. М. Телешев В. И. Выбор строительных машин для производства земляных работ: Учеб. Пособие / ЛПИ. Л., 1987. 84 с.
3. Телешев В. И., Казанцев Б. Э., Птухина И. С. Принципы выбора системы строительных машин и определение их производительности // Гидротехническое строительство. 2000. №2. С. 24–28.
4. Булатов Г. Я. Технология возведения грунтовых плотин: Учеб. пособие / Под ред. В.И. Телешева. СПб. : Изд-во СПбГТУ, 1994. 92 с.
5. Булатов Г. Я. Обобщенные критерии оптимального выбора технологий и машин // Инженерно-строительный журнал. 2009. №1. С. 32–39.
6. Зерцалов М. Г. [и др.]. Производство гидротехнических работ : учеб. для вузов. Часть 2. М. : Издательство МГОУ, 2010. 394 с.
7. Булатов Г. Я. Методические указания по туннельным работам / ЛПИ. Л., 1970. 58 с.
8. Родченко Г. А. Определение производительности строительных машин / ЛПИ. Л., 1975. 55 с.
9. Булатов Г. Я. К теории производительности строительных машин // Строительство. К 100-летию Инженерно-строительного факультета: Тр. СПбГТУ, №502. СПб. : Изд-во СПбГПУ, 2007. С. 129–138.
10. Галузин В. М. Технология строительных процессов. Разработка котлованов : Метод. указ. СПб. : Изд-во СПбГПУ, 2007. 79 с.
11. Телешев В. И., Ватин Н. И., Марчук А. Н., Комаринский М. В. Производство гидротехнических работ. Часть 1. М. : Изд-во АСВ, 2010. 432 с.
12. Теличенко В. И. и др. Технология строительных процессов. М. : Высш. шк., 2005. 392 с.
13. Ясинецкий В. Г., Ачкасов Г. П., Иванов Е. С. Производство гидромелиоративных работ. М. : Агропромиздат, 1987. 143 с.
14. Boulatov G. et autr. Contribution à l'explotation des camions basculants (stabilité d'un camion) // Annales de l'institut polytechnique Gamal Abdel Nasser. Républiaue de Guinée, Conakry, 1972.
15. Boulatov G. et autr. Coupe des mineraux à l4qide d'une pelle mécanique dans les condition optimales // Annales de l'institut polytechnique Gamal Abdel Nasser. Républiaue de Guinée, Conakry, 1973.

**Георгий Яковлевич Булатов, Санкт-Петербург, Россия*

Тел. раб.: +7(812) 297-59-49; эл. почта: bagira@cef.spbstu.ru

Очистка сточных вод узлов мойки бетоносмесительного и бетонотранспортного оборудования

Д.т.н., профессор Н.И. Ватин;
к.х.н., доцент В.Н. Чечевичкин;
инженер А.В. Чечевичкин*,
ГОУ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет;
студентка Е.С. Шилова,
ГОУ Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Технический университет)

Ключевые слова: бетон; стоки; загрязнение; бетоносмеситель; очистка; оборотные воды; частицы.

Современное оборудование для приготовления и транспортировки цементных растворов нуждается в профессиональном обслуживании и, в первую очередь, в отмывании его от остатков цемента после эксплуатации [1,2]. Возрастающие объемы вод, используемых для этих целей, требуют разработки технологий их очистки от взвешенных и растворенных веществ, коррекции pH, утилизации осадков и т.п. [3,4].

Воды, образующиеся после мойки бетоносмесительного оборудования, представляют собой сложную двухфазную систему [5,6,7]. Жидкая фаза таких вод является концентрированным раствором силикатов, алюминатов и ферритов кальция, натрия и калия, а также их щелочей [8,9]. Твёрдая фаза, состоящая из нерастворённых частичек клинкера, присутствует в этих водах в значительных количествах и гидролизуется в пределах растворимости отдельных её компонентов. Нерастворимые частички клинкера в воде адсорбируют различные ионы, их поверхность приобретает определённый ξ (дзета) потенциал, от величины которого зависит агрегационная устойчивость суспензии [10,11].

В данной работе изучались физико-химические характеристики сточных вод после мойки бетоносмесительного оборудования с целью дальнейшего использования этих характеристик при разработке процессов их очистки. Исследованиям подвергали исходную суспензию, образующуюся в результате мойки водой бетоносмесительного и бетонотранспортного оборудования на реальном узле мойки одной из крупных строительных организаций Санкт-Петербурга.

Массовые показатели (содержание твердой фазы и солесодержание жидкой фазы) определялись гравиметрическим методом. Измерения водородного показателя pH (как воды, так и суспензий) проводили потенциометрическим методом на pH-метре [9,12]. Кислотно-основные свойства суспензий и растворов оценивали методом титрования с применением стандартной процедуры и оборудования [13]. Определение скорости оседания твердых частиц суспензии проводили в мерном цилиндре с высоты 200 мм [14].

Таблица 1. Свойства исходной сточной воды после мойки бетоносмесительного оборудования

N п/п	Характеристика	Значение
1	Весовое содержание твёрдой фазы в суспензии	128±3 г/л
2	Солесодержание надосадочной жидкости	3,6±0,2 г/л
3	Водородный показатель pH	12,56±0,2 ед. pH
4	Скорость осаждения частиц твёрдой фазы	0,69±0,02 мм/с
5	Скорость образования пленки карбонатов на поверхности зеркала надосадочной жидкости	1,8÷2,0 мг/см^2 в сутки

Характеристики исходной сточной воды, представленные в табл.1, свидетельствуют о том, что исходная сточная вода содержит значительное количество взвешенных частиц и растворённых солей в жидкой фазе, имеет сильно щелочную реакцию и высокую скорость осаждения частиц твёрдой фазы.

При контакте с углекислым газом воздуха на поверхности надосадочной жидкости исходного продукта образовывалась пленка карбонатов белого цвета со скоростью 1,8÷2,0 мг/см^2 в сутки. При хранении исходного продукта в герметично закрытой и полностью заполненной таре образование пленки карбонатов не происходило.

Осадок твердой фазы исходного продукта при длительном хранении в течение 1 месяца и в условиях отсутствия перемешивания схватывался и цементировался в монолитный блок на дне сосуда, где он хранился.

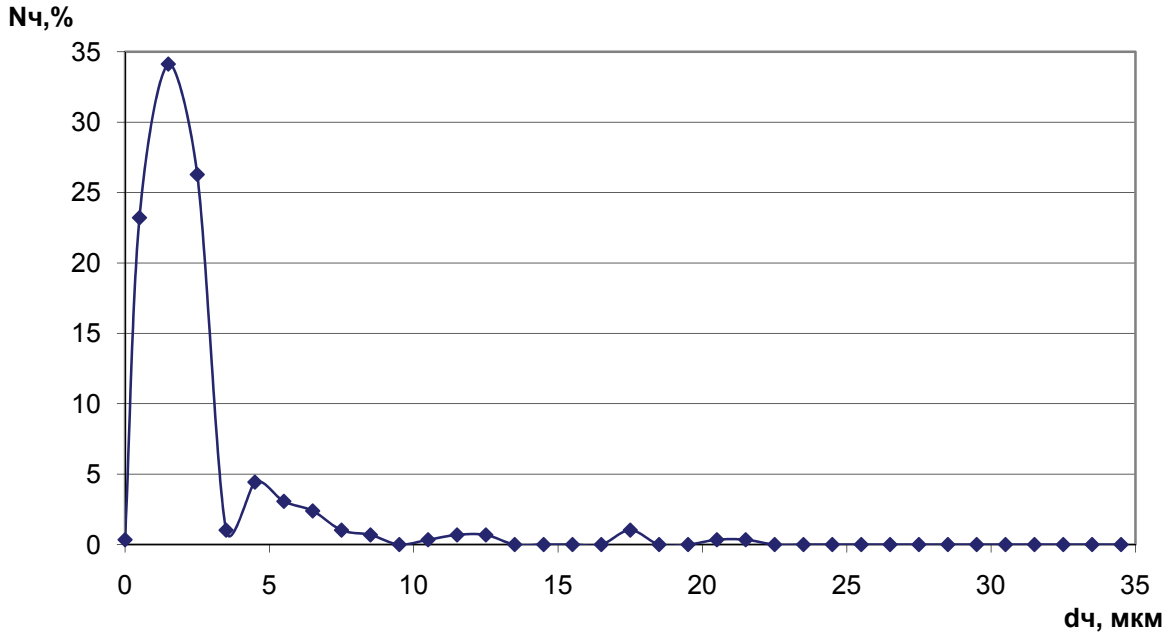
Проверка возможности механической фильтрации исходного продукта через зернистый песчаный и картриджный фильтры не дала положительного результата. Даже при минимальных линейных скоростях движения жидкой фазы (менее 0,1 м/час) через слой кварцевого песка (фракция 0,3÷0,8 мм) происходил проскок твердой фазы суспензии в фильтрат.

Следует отметить, что надосадочная жидкость исходного продукта является сильнощелочной и крайне агрессивной, что приводит к медленному растворению кварцевого песка и довольно существенному растворению алюмосиликатного песка (цеолитового и др.). Эти процессы при длительном контакте песка с жидкой фазой исходного продукта в процессе фильтрации могут существенно увеличивать солесодержание насадочной жидкости.

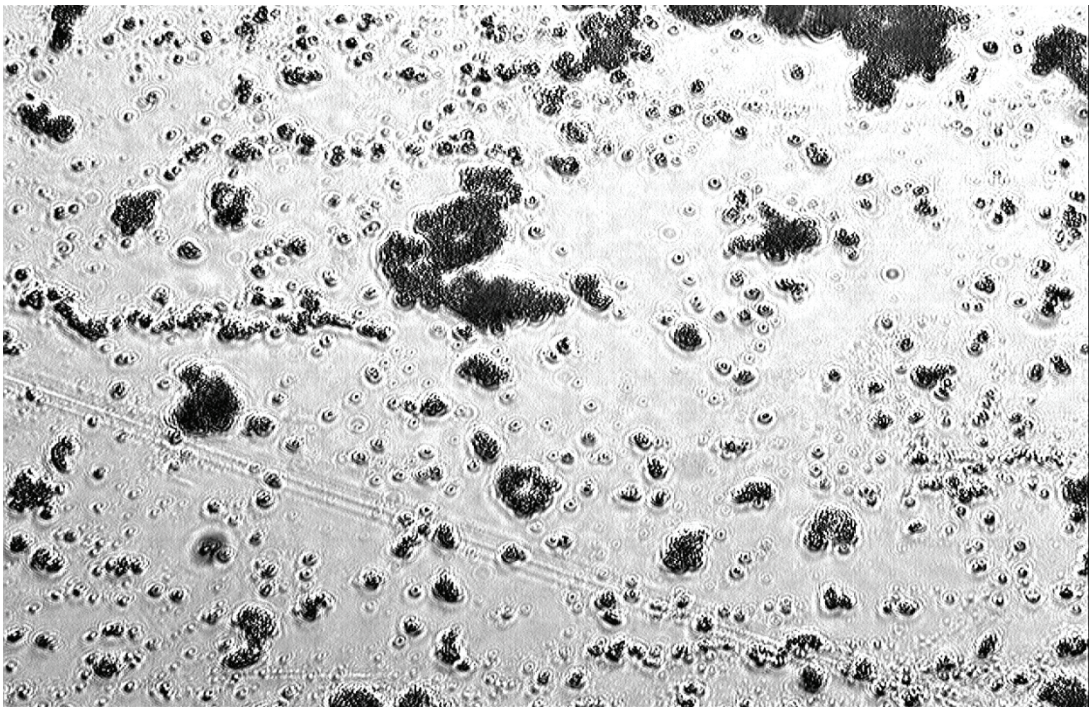
Оценку дисперсного состава частиц твердой фазы суспензий проводили при помощи подсчета количества частиц заданного размера в поле зрения измерительного микроскопа в проходящем свете при различных увеличениях и определения линейных размеров этих частиц (по фотографиям в черно-белом монохромном изображении частиц) [15,16]. Фотографии получали при помощи цифровой фотокамеры для микроскопа фирмы «Webbers» с чувствительным элементом 1,3 Мпс, максимальным разрешением 1280x1024 Пс и USB-интерфейсом для вывода изображений на компьютер с целью их дальнейшей обработки. Калибровку микроскопа при всех увеличениях проводили при помощи обьект-микрометра проходящего света ОМП-1. После подсчета количества частиц (для каждой выборки не менее 100 штук) и определения их размеров по фотографиям строили зависимости (распределения) количества частиц по их размерам.

Исходная суспензия была подвергнута процедуре гидроседиментационного фракционирования, заключавшейся в осаждении твердой фазы в дистиллированной воде в цилиндрических сосудах с высоты 120 мм в течение 1, 2,5, 5, 10 и 20 минут [8,10]. Более 20 минут осаждения не проводились ввиду отсутствия в суспензии частиц, которые имели бы время осаждения более 20 минут.

Зависимости распределения частиц по размерам для этих фракций (рис. 1а) очень похожи друг на друга: во всех фракциях наблюдаются частицы различных размеров (от 1 до 35 мкм), причем основное их количество приходится на интервал 2 – 3мкм. Такая ситуация, притом что частиц, осаждающихся за время более 20 минут, практически нет в суспензии, говорит об интенсивной агрегации мелких частиц твердой фазы суспензии в более крупные хлопья, которые довольно быстро осаждаются. Фотографии препаратов (рис. 1б) подтверждают тот факт, что крупные частицы фракций представляют собой агрегаты мелких частиц размером 2-5 мкм. (Для сравнения, время осаждения алюмосиликатных частиц размером 2-3 мкм, при pH=6-7, составляет более 3 часов).



а



б

Рисунок 1. Характеристики дисперсного состава одной из фракций (осаждённой при т =20 мин) исходной суспензии сточной воды:
а – зависимость количества частиц Nч (в %) от их среднего диаметра dч (мкм);
б – фотография образца фракции суспензии (в проходящем свете) с увеличением х280

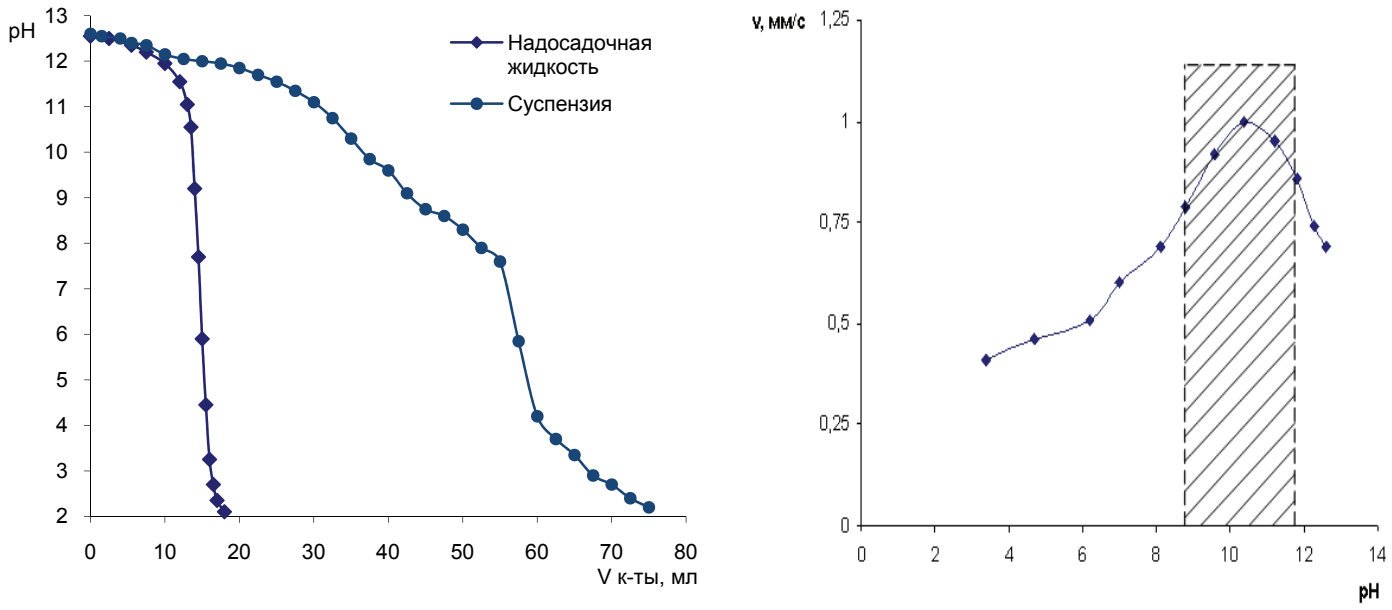
Визуальные наблюдения суспензии после интенсивного диспергирования подтверждают вышесказанное. Даже обычное перемешивание исходной суспензии (стеклянной палочкой или магнитной мешалкой) разбивает образующиеся хлопья до однородного гомогенного состояния, после чего происходит интенсивное образование хлопьев вновь и их дальнейшее седиментационное осаждение со скоростью 0,69-0,70 мм/сек. Высокое значение pH=12,56 свидетельствует также о том, что в исходном продукте присутствуют щелочи типа NaOH и KOH, которые и позволяют достичь этого значения pH, т.к. величина pH насыщенного раствора $Ca(OH)_2$ составляет 12,41 ед pH.

Поскольку исходный продукт является высокощелочной суспензией (pH=12,56), была проведена попытка его нейтрализации, до значений pH приемлемых для сброса воды в канализационный коллектор или повторного использования его жидкой фазы в качестве оборотной, различными кислотами. В качестве кислот были взяты наиболее доступные и дешевые – соляная, серная и ортофосфорная. Применение серной и фосфорной кислот было продиктовано также возможностью перевода в осадок части растворенного в воде кальция в виде нерастворимых гипса и фосфатов.

Результаты титрования суспензии и надосадочного раствора этими кислотами представлены на рис. 2, 3, 4. Для всех трех случаев обработки исходной суспензии растворами кислот были получены седиментационные кривые (кривые осаждения), которые представляли из себя зависимости скорости оседания частиц твердой фазы суспензии от величины pH.

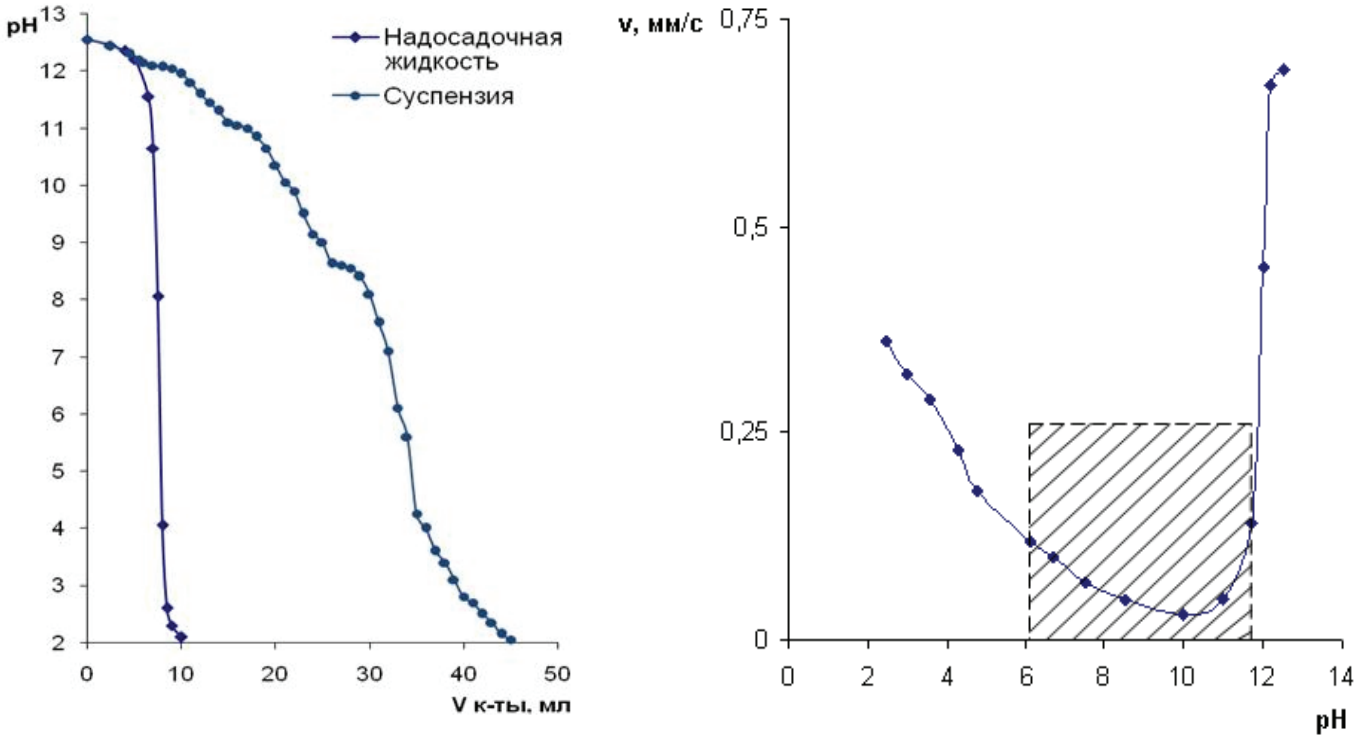
Кривая титрования надосадочной жидкости соляной кислотой представляет собой кривую титрования сильной щелочи сильной одноосновной кислотой, причём образование твердой фазы (хлопьев) в этом случае не происходит (рис. 2). Титрование суспензии здесь представлено более сложной кривой, на которой можно выделить четыре области, причём увеличение скорости оседания частиц практически совпадает с областью полной агрегации частиц суспензии (т.е. области pH получения прозрачной жидкой фазы над фронтом седиментирующего осадка.)

Результаты титрования надосадочной жидкости и суспензии раствором серной кислоты (рис. 3) очень похожи на предыдущие для соляной кислоты, однако выпадение гипса, как следовало бы ожидать в данном случае, не происходит. Титрование суспензии представлено более сложной кривой, аналогичной кривой титрования раствором HCl.



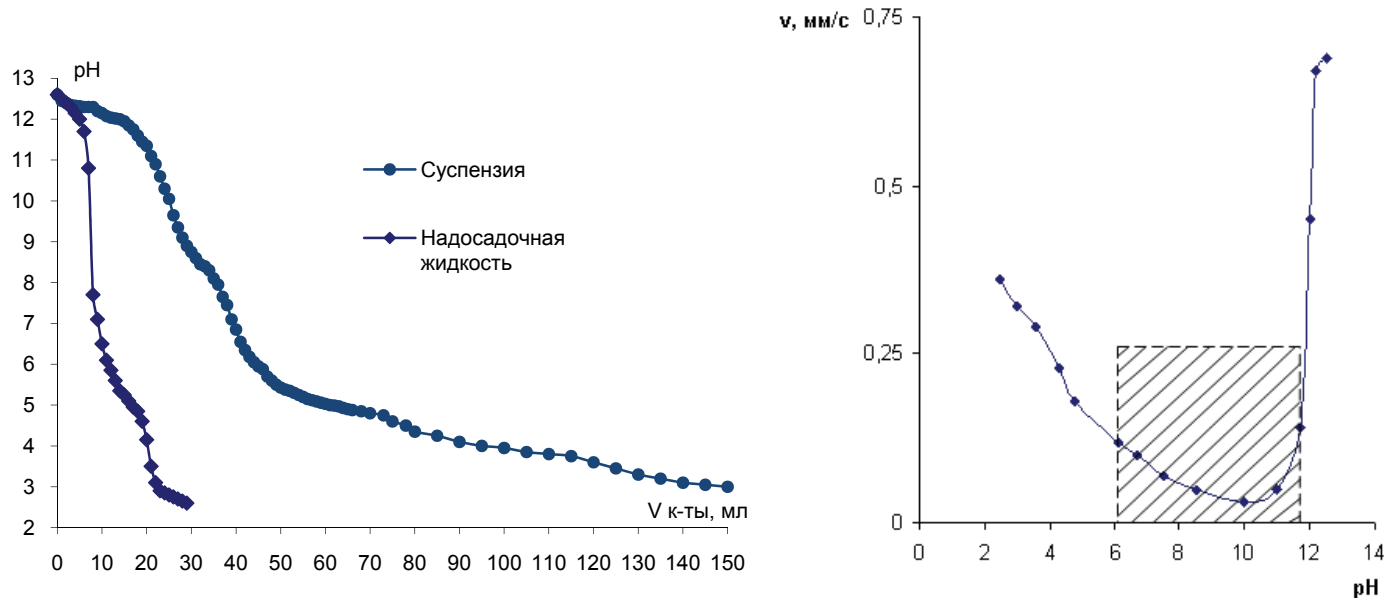
а б

Рисунок 2. Характеристики насадочной жидкости и суспензии сточной воды при обработке её HCl:
а – кривые титрования 0,5 м раствором HCl (обьём пробы-50мл.);
б – зависимость скорости оседания частиц твёрдой фазы от pH



а б

Рисунок 3. Характеристики насадочной жидкости и суспензии сточной воды при обработке её H_2SO_4:
а – кривые титрования 0,5 м раствором H_2SO_4 (обьём пробы-50мл);
б – зависимость скорости оседания частиц твёрдой фазы от pH



а б

Рисунок 4. Характеристики насадочной жидкости и суспензии сточной воды при обработке её H_3PO_4: а – кривые титрования 0,5 м раствором H_3PO_4 (обьём пробы – 50мл); б – зависимость скорости оседания частиц твёрдой фазы от pH

Кривая титрования надосадочной жидкости ортофосфорной кислотой представляет собой кривую титрования сильной щелочи сильной двухосновной кислотой только на участке 1, а на участке 2 уже как одноосновной кислотой (рис. 4).

Такая ситуация связана с существованием в области высоких значений pH иона HPO_4^{2-}, а в области низких значений pH – иона $H_2PO_4^-$, что даёт характерный перегиб на кривой, который свидетельствует об образовании соединения $Ca(H_2PO4)_2$, имеющего значительно большую растворимость, чем соединение $CaHPO_4$. Это подтверждается визуальными наблюдениями образования осадка до значений pH=5,5-5,1 и его полного растворения при более низких значениях pH.

Титрование суспензии в этом случае представлено более сложной кривой, на которой можно выделить пять областей.

Для серной и ортофосфорной кислот область полной агрегации соответствует нисходящей части кривой осаждения, то есть низким значениям скорости осаждения частиц твердой фазы суспензии.

Для уменьшения солесодержания жидкой фазы и оптимизации ее pH была также проведена обработка надосадочной жидкости и исходной суспензии раствором соды.

Обе кривые титрования имеют соответствующие перегибы (рис. 5), что свидетельствует о сложных процессах образования карбонатных фаз, происходящих как в жидкой фазе, так и на поверхности твердых частиц суспензии. Обе кривые, апроксимационно, (при увеличении количества $NaHCO_3$) стремятся к значению pH=7,98 для 0,5 М раствора $NaHCO_3$.

Следует отметить, что начало образования осадка в жидкой фазе при обработке содой происходит уже при pH=12,49-12,45, (как и в случае обработки ортофосфорной кислотой), т.е. практически сразу после добавления раствора $NaHCO_3$ к водной фазе суспензии. Область полной агрегации в этом случае, так же как для серной и ортофосфорной кислот, соответствует нисходящей ветви кривой осаждения, однако довольно узка (0,3-0,4 ед. pH).

Обработку исходной суспензии и надосадочной жидкости газообразным CO_2 проводили путем барботажа воздуха в течение определенного времени.

Процесс образования твердой фазы в надосадочной жидкости становится визуально заметным только через 20 минут после начала барботажа воздуха и практически завершается через 8-10 часов обработки.

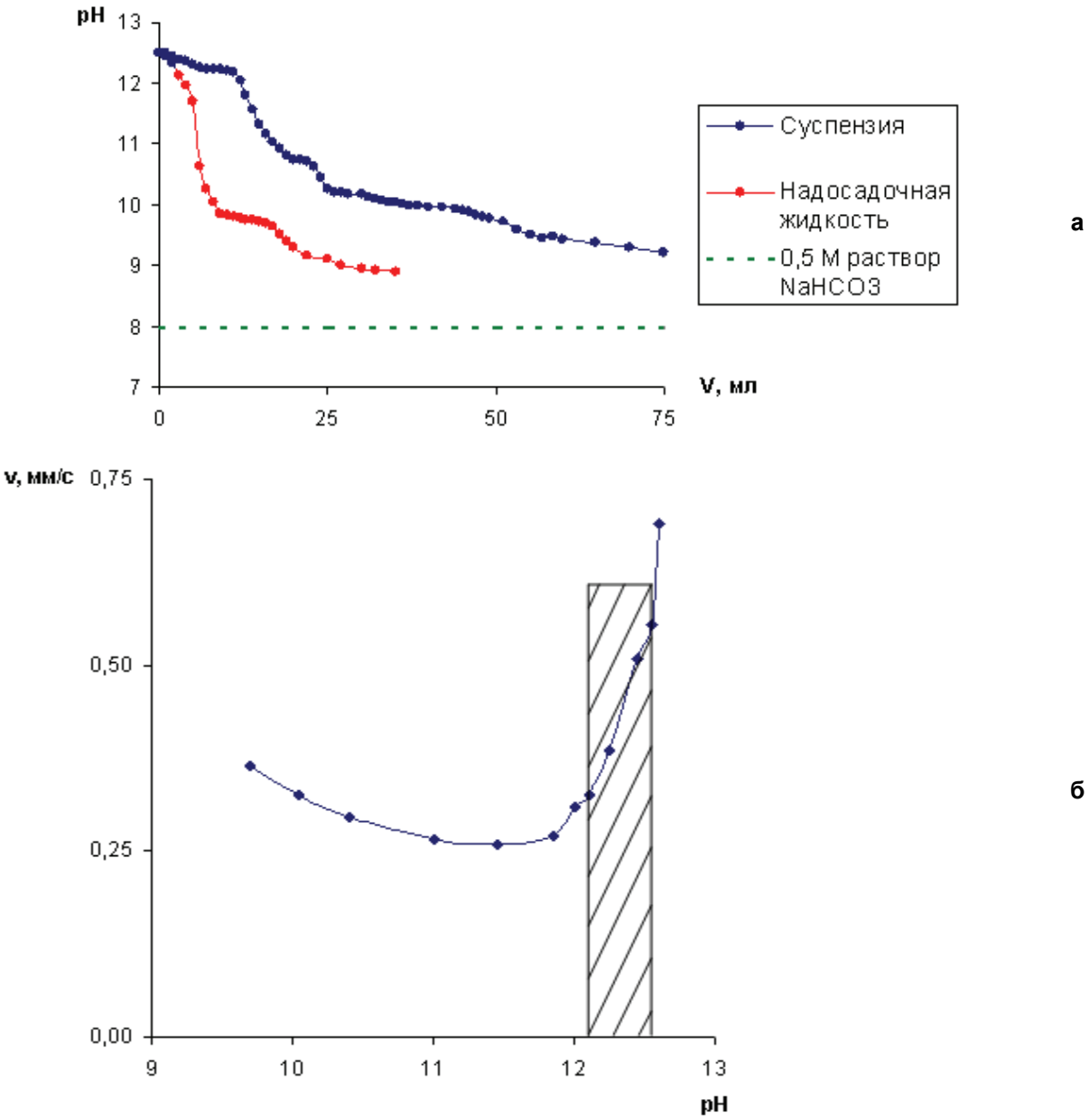


Рисунок 5. Характеристики насадочной жидкости и суспензии сточной воды при обработке её $NaHCO_3$: а – кривые титрования 0,5 м раствором $NaHCO_3$ (Объём пробы – 50 мл); б – зависимость скорости оседания частиц твёрдой фазы от pH

Зависимость скорости осаждения частиц твердой фазы суспензии от времени обработки ее воздухом свидетельствует о непрерывном и значительном уменьшении скорости седиментации при небольшом уменьшении значения pH (всего на 0,6 ед pH).

Частицы твердой фазы суспензии при этом обладают малой агрегационной способностью, которая характерна для высокодисперсных мелкокристаллических карбонатов.

Проведённые исследования надосадочной жидкости и суспензии позволяют сравнить различные способы их обработки по таким параметрам, как эффективность осаждения твердой фазы суспензии, снижение общего солесодержания надосадочной жидкости, нейтрализации щелочного характера стоков, а также скорости проведения седиментационных процессов осаждения твердой фазы.

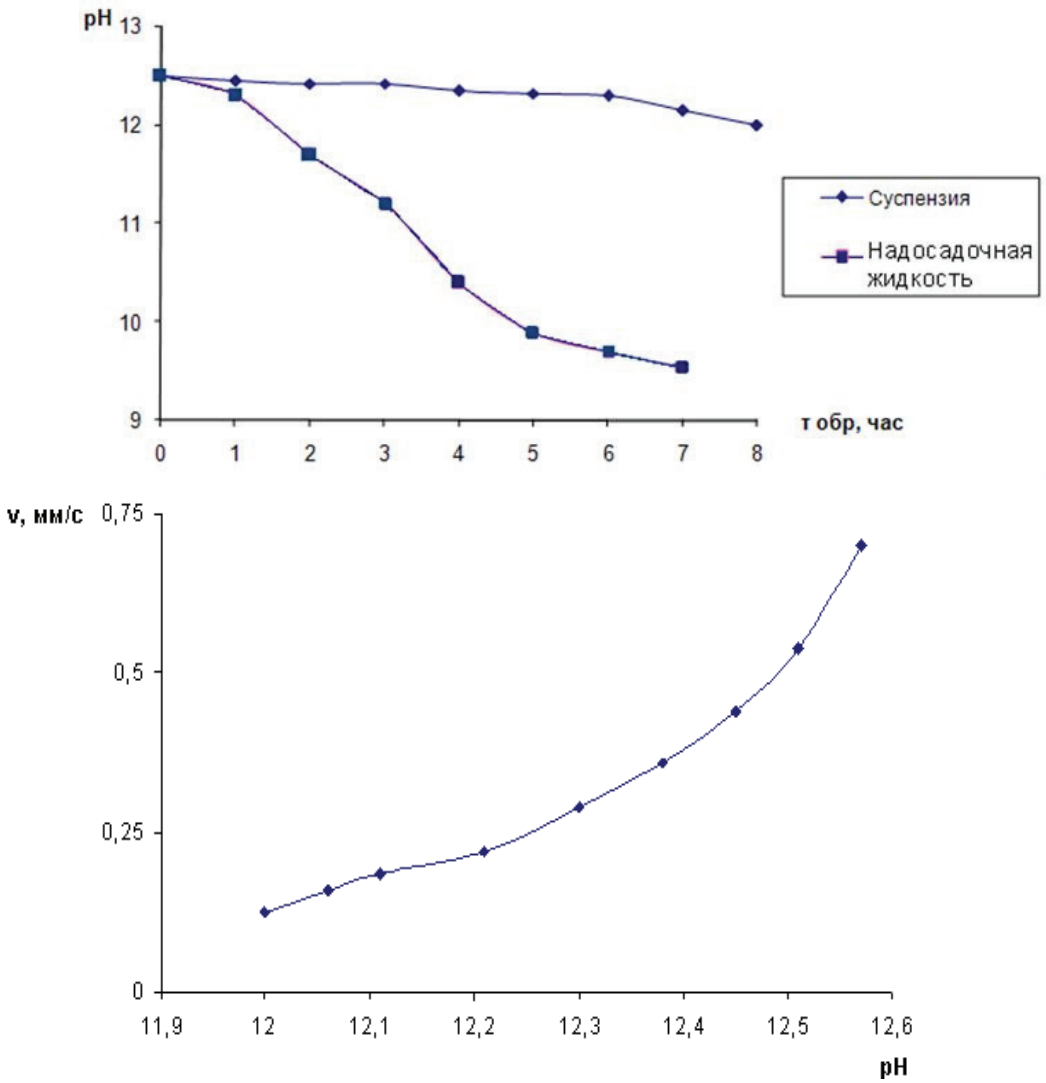


Рисунок 6. Характеристики насадочной жидкости и суспензии сточной воды при обработке её CO_2: а – изменение pH во времени;
б – зависимость скорости оседания частиц твёрдой фазы от pH

Таблица 2. Сравнение эффективности различных способов химической обработки суспензии исходного продукта

N п/п	Характеристики	Исходная суспензия	Обработка									
			0,5 М HCl		0,5 М H_2SO_4		0,5 М H_3PO_4		0,5 М $NaHCO_3$		Газообразный CO_2	
			Рез-т	% изм	Рез-т	% изм	Рез-т	% изм	Рез-т	% изм	Рез-т	% изм
1	Концентрация твёрдой фазы суспензии, г/л	48,2	13,8	-71	52,6	+9	43,6	-10	36,5	-22	51,9	+8
2	Солесодержание надосадочной жидкости, г/л	3,6	38,52	+970	6,4	+78	1,85	-49	1,6	-60	1,97	-45
3	pH, ед. pH	12,56	6,5	-	5,6	-	6,5	-	9,3	-	12	-
4	Скорость осаждния твёрдой фазы, мм/с	0,69	0,5	-28	0,12	-83	0,06	-91	0,17	-75	0,13	-81
5	Диапазон pH полной агрегации, ед. pH	-	3,0		1,4		5,3		0,5		Полной агрегации нет	

(-) – уменьшение, (+) – увеличение показателя по сравнению с показателем для исходной суспензии

Результаты исследований по химической обработке сведены в таблицу 2.

Из таблицы 2 видно, что обработка исходной суспензии соляной кислотой до нейтральной реакции приводит к сильному растворению осадка с одной стороны и соответственно к увеличению минерализации (солесодержания) надосадочной жидкости. Скорость оседания оставшейся массы взвешенных частиц уменьшается незначительно.

Обработка исходной суспензии серной кислотой хотя и даёт небольшой прирост массы осадка, но значительно увеличивает солесодержание надосадочной жидкости. Оптимальное для образования гипса ($CaSO_4$) значение pH=5,5÷5,6 лежит всё же в кислой области, а скорость седиментации твердой фазы суспензии уменьшается при этом довольно значительно.

Обработка исходной суспензии фосфорной кислотой вызывает небольшое уменьшение массы осадка, но значительно уменьшает солесодержание надосадочной жидкости. Скорость оседания частиц твердой фазы при этом минимальна.

Обработка суспензии раствором гидрокарбоната дает самые лучшие показатели процесса – минимальное солесодержание надосадочной жидкости, небольшое уменьшение массы осадка, хорошую кинетику образования осадка.

Обработка суспензии углекислым газом воздуха при его барботаже через жидкую фазу приводит к небольшому увеличению массы осадка и значительному снижению солесодержания надосадочной жидкости. Вместе с тем, значения скоростей седиментации образовавшихся частиц карбонатов имеют небольшие значения, pH окончания процесса имеет сильно щелочной характер, и эффект достигается только при достаточно длительной обработке воды (т.е. при значительном расходе воздуха).

Приведенные результаты исследований могут быть использованы при разработке и проектировании конкретных узлов очистки сточных вод с учетом возможностей реальных производственных предприятий по накоплению и выпуску этих вод.

Литература:

1. Borger J., Carrasquillo R.L. and Fowler D.W. Use of Recycled Wash Water and Returned Plastic Concrete in the Production of Fresh Concrete, Advanced Cement Based Materials, Nov. 1994 I (6). Pp. 267-274.
2. Chini S. A., Mbwambo J. W. Environmentally friendly solutions for the disposal of concrete wash water from ready mixed concrete operations. CIB W89 Beijing International Conference, Okt. 1966. Pp.138-141.
3. Chatveera, B, Lertwattanaruk, P & Makul, N 2006. Effect of sludge water from ready-mix concrete plant on properties and durability of concrete. Cement and Concrete Composites, 28. Pp. 441-450.
4. Meininger, R.C. Recycling Mixer Wash Water-Its Effect on Ready Mixed Concrete, National Ready Mixed Concrete Association, Technical Information Letter No. 298, Silver Spring, MD, March 1973. 7 p.
5. Баженов Ю. М. Технология бетона. М. : Высшая школа, 1987. 415 с.
6. Яковлев С. В. и др. Очистка производственных сточных вод. М. : Стройиздат, 1979. 320 с.
7. Укрупнённые нормы водопотребления и водоотведения для различных отраслей промышленности. М. : Стройиздат, 1978. 590 с.
8. Волконский Б. В., Макашов С. Д., Штейерт Н. П. Технологические, физико-механические и физико-химические исследования цементных материалов. Л. : Стройиздат, 1978. 304 с.
9. Некрасов Б. В. Основы общей химии. М. : Химия, 1970. Т.1. 519 с.
10. Рамананд ран В., Фельдман Р., Бодуэн Дж. Наука о бетоне. М. : Стройиздат, 1986. 278 с.
11. Волконский Б. В., Судакас П. Г. Справочник по химии цемента. Л. : Стройиздат, 1989. 224 с.
12. Баранова В. И., Бибик Е. Е. и др. Практикум по коллоидной химии. М. : Высшая школа, 1983. 216 с.
13. Крешков А. П. Основы аналитической химии. М. : Химия, 1997. Т. 3. 448 с.
14. Фролов Ю. Г. Курс коллоидной химии. Л. : Химия, 1983. 448 с.
15. Градус Л. Я. Руководство по дисперсному анализу методом микроскопии. М. : Химия, 1979. 232 с.
16. Коузов П. А., Скрябина Л. Я. Методы определения свойств промышленных пылей. Л. : Химия, 1983. 143 с.

**Алексей Викторович Чечевичкин, Санкт-Петербург, Россия*

Тел. раб.: +7(812) 535-99-39; эл. почта: filter-w@mail.ru

Применение численного моделирования при проектировании технологии обогрева и выдерживания бетона монолитных конструкций

К.т.н., старший преподаватель Л.В. Зиневич*,
ГОУ Московский государственный строительный университет

Ключевые слова: монолитное строительство; зимнее бетонирование; обогрев и выдерживание бетона; температурно-прочностное прогнозирование состояния монолитного бетона в раннем возрасте; программное обеспечение; МКЭ анализ; ELCUT.

Процессы технологического обеспечения обогрева и выдерживания бетона относятся к основной группе работ по изготовлению монолитных железобетонных конструкций в построечных условиях и во многом определяют их конечные свойства и общее качество возводимого здания по критериям долговечности и надежности [1, 2]. Первым этапом подготовки этих процессов для любого объекта является проработка специальных технологических регламентов на обогрев и выдерживание бетона на стадии разработки ППР. Здесь определяются способы обогрева и выдерживания монолитных конструкций, конкретные режимы, обеспечивающие достижение необходимой прочности бетона к моменту их распалубливания или загружения, конкретизируются правила выполнения работ при тепловой обработке бетона на объекте, определяется потребность в ресурсах.

В условиях современной строительной практики стало очевидно, что использование традиционных типовых решений [3, 4] не может являться конкурентным и удовлетворяющим растущий спрос на индивидуальные решения, учитывающие особенности применяемых технологий и всё многообразие реальных условий. В то же время проектировщикам до сих пор так и не удалось уйти от недостаточной проработки вопросов тепловой обработки бетона и перепечатки общих сведений и правил. И основная причина здесь – практически полное отсутствие простых и доступных инструментов, позволяющих автоматизировать расчёты теплотехники ограждений, электротехники обогрева, а также сложные и трудоемкие расчёты температурно-прочностного состояния бетона в монолитных конструкциях.

Повышение качества проектной технологической документации по обогреву и выдерживанию монолитных конструкций становится возможным в результате широкого применения моделирования температурно-прочностного поведения бетона в конструкциях с одновременным подбором характеристик ограждений и нагревателей. На основе такого рода расчётов становится возможной разработка комплекса технологических мероприятий, обеспечивающих благоприятные условия для твердения бетона с требуемой по технологии строительства интенсивностью. Создаются также предпосылки к проработке и внедрению целого ряда новых разделов регламентов [1, 5].

Задачу постановки и реализации методов компьютерного моделирования температурно-прочностного состояния бетона пытались решить многие исследователи [6-13], однако эти наработки в большинстве своём методологически раздроблены и не получили распространения. Тем не менее, общим устойчивым направлением является разработка небольших независимых специализированных компьютерных приложений, в которых основной концепцией расчёта теплового состояния конструкций служит стандартная методика расчета на основе уравнения общего теплового баланса.

Практически полное отсутствие методов конечных разностей, объёмов или элементов можно объяснить значительными сложностями при описании геометрии конструкции и начальных условий, при интерпретации полученных данных, что тесно связано с простотой, надёжностью и конкурентоспособностью локальной специализированной программы. Использование именно независимых разработок также связано со специфичностью вопроса и сложностью, излишней функциональностью и высокой ценой универсальных расчётных комплексов [14, 15], на базе которых можно строить специализированный расчёт.

С учётом указанных причин автором в своё время также была разработана компьютерная программа для расчёта параметров обогрева и моделирования температурно-прочностного состояния бетона на основе уравнения общего теплового баланса (название ThermoBeton). Использование программы снимало проблему трудоемкости расчетов, а возможность моделирования позволяла оценить многие технологические оттенки обогрева и выдерживания бетона. Например, границы применимости режимов при различной температуре наружного воздуха, возможность и режимы тепловой обработки разнородных конструкций в едином цикле управления обогревом и целый ряд других. При этом одно из непременных условий – представление результатов расчетов в графическом виде, доступном для быстрого анализа и понимания ситуаций.

Однако решение на основе уравнения общего теплового баланса не позволяет получить показатели в каждой точке конструкции и не может использоваться для сложных задач, требующих анализа поля. Этот вопрос определённым образом был решён при разработке специализированной программной надстройки для ELCUT – универсального отечественного пакета двумерного полевого моделирования с использованием МКЭ (разработчик ПК ТОР) [16]. Остановимся подробнее на том, почему в качестве платформы был выбран именно этот расчётный пакет, и каким образом выполняется расчёт обогрева и выдерживания бетона конструкций с применением ELCUT и WinConcret (название надстройки).

В качестве платформы для специализированных расчётов ELCUT был выбран не случайно. Во-первых, он прост, не требователен к ресурсам, не зависит от других CAE/CAD приложений, даёт надёжные результаты, изначально русскоязычный и имеет отличную службу поддержки, не дорого стоит и имеет бесплатный «Студенческий» вариант. Во-вторых, содержит необходимые для выполнения расчётов по выдерживанию бетона модули – переменного тока, нестационарной теплопроводности, упругих напряжений и деформаций, а также обладает гибкостью – позволяет использовать себя в качестве платформы сторонними приложениями. Самостоятельная значимость и модульность ELCUT при этом также играют важную роль.

WinConcret реализует только дополнительные функции, которых не хватает ELCUT для осуществления расчётов по обогреву и выдерживанию бетона. К таким основным функциям можно отнести:

- определение тепловыделения и прочности бетона (с учётом данных по величине, кинетике тепловыделения и твердения бетона, расходу цемента);
- коррекция мощности активных источников тепла (с учётом КТС нагревателя, с учётом изменения сопротивления бетона при электропрогреве);
- инструменты регулирования длительности прогрева, длительности существования съёмных ограждений.

Таким образом, используя ELCUT и надстройку WinConcret, конечный пользователь получает в своё распоряжение все возможности и преимущества ELCUT как самостоятельного продукта, а также дополнительные функции для осуществления расчётов по выдерживанию бетона, реализуемые через WinConcret. Расчёт выдерживания бетона при этом обычно происходит в два этапа:

- формирование и решение обычной задачи ELCUT (нестационарной теплопередачи, начальные условия по температуре задаются обычно связанной стационарной задачей теплопередачи);
- уточняющий расчёт, то есть учитывающий специфику выдерживания бетона. Этот расчёт запускается из надстройки WinConcret после внесения в ней основных данных для уточняющего расчёта, а также параметров самого расчёта (это занимает не более двух минут). Удобно также то, что WinConcret запускается из самого ELCUT как встроенная функция.

Здесь нужно отметить, что, с учётом вида возможного программного взаимодействия с ядром ELCUT, в основе уточнения расчёта лежит модификация исходной задачи и решение серии таких модифицированных последовательно связанных задач. При этом твердеющий бетон разбивается прямоугольной сеткой дискретизации на блоки с КЭ сеткой, в которых могут быть заданы различные свойства, постоянные в пределах конкретного блока и на временном шаге, а временной шаг модификации свойств в блоках равняется шагу решения отдельной задачи серии.

Результатом уточнённого решения являются:

- данные изменения температуры и прочности бетона во времени для каждого блока и всего твердеющего бетона модифицированной модели в виде привычного температурно-прочностного графика, доступные в интерпретации WinConcret;
- все остальные показатели, существующие и доступные в интерпретации ELCUT для каждого из моментов времени (то есть для каждой из решённых модифицированных задач).

Совместную работу ELCUT и надстройки рассмотрим на примере проектирования технологии выдерживания реального рамного фундамента Уренгойской ГЭС.

1 этап. *Постановка задачи, формирование расчётной модели, задание свойств, решение исходной задачи*. Основной задачей теплового расчёта для массивной конструкции является анализ температурного поля в её сечении и разработка технологических мероприятий, выравнивающих это поле и одновременно обеспечивающих благоприятную абсолютную температуру твердения бетона конструкции.

В силу двухмерности ELCUT расчёт режима фундамента произведён для каждого из характерных участков, который в плоскопараллельной постановке был представлен соответствующим сечением. Однотипные конструкции со схожими габаритами сечений могут выдерживаться в одном технологическом цикле, поэтому расчёт режима таких конструкций был выполнен в одной задаче (то есть в расчётную модель были помещены сечения сразу всех таких конструкций). На рис.1. показана расчётная геометрическая модель ELCUT с сечениями рассматриваемых ригелей рам.

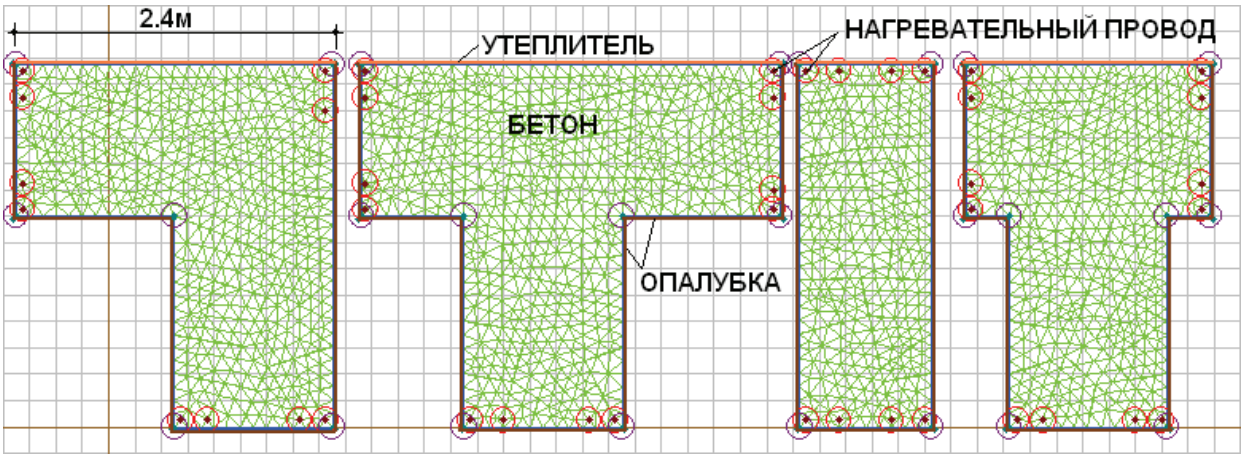


Рисунок 1. Исходная расчётная геометрическая модель ригелей

Здесь помимо сечения самих конструкций указана используемая опалубка и утеплитель. Также для выравнивания температурного поля предусмотрен локальный прогрев бетона конструкций нагревательным проводом (в модели указан в виде точек – следов точечных линейных нагревателей).

Из основных особенностей формирования задачи для первого «прикидочного» расчёта отметим только следующее. Для вершин нагревательного провода задаётся начальная, а не расчётная погонная нагрузка, то есть при 20°С, например 40Вт/пм. Это связано с температурным сопротивлением нагревателей [17], которое будет учтено при последующем уточняющем расчёте. Тепловыделение бетона ELCUT считать самостоятельно не умеет, поэтому объёмные источники на этом этапе можно не указывать. В то же время, используя возможность ELCUT задавать источник как функцию времени или координат, тепловыделение бетона можно представить функцией времени при средней ожидаемой температуре твердения. С учётом известных данных [18], эту функцию для ELCUT можно привести к виду:

$$Z*Qmax*(1-(Bt*(t/3600)+1)*exp(-Bt*(t/3600)))/((t+1)/3600)/36,\ Вт/м^3,$$

где *Z* – расход цемента (принят 350кг/м^3);
Qmax – максимальное тепловыделение цемента (для бетона на ПЦ400 принято равным 335кДж/кг);
Bt – коэффициент интенсивности тепловыделения при температуре бетона (для +20°С принято равным 0,04);
t – переменная времени Elcut, сек.

2 этап. *Уточняющий расчёт*. В WinConcret задаётся бетон, указываются нагреватели, время прогрева, при необходимости – время существования ограждений, а также параметры расчёта: шаг интегрирования, шаг задач серии, степень дискретизации на блоки при специализированном расчёте, после чего запускается сам расчёт.

3 этап. *Анализ данных*. Анализируя состояние поля (рис. 2б), можно судить о приемлемости технологического решения по выдерживанию бетона конструкций. В данном случае показано температурное поле в момент времени и графики во времени температурно-прочностного состояния бетона конструкций в отдельных точках (блоках). В зависимости от целей анализа также можно построить поле градиентов или теплового потока, решить дополнительно задачу температурных напряжений и деформаций для рассматриваемого фрагмента.

Файлы этой задачи, а также других примеров задач и более подробное описание решения основных типов задач в технологии выдерживания бетона, можно найти на сайте поддержки программы WinConcret.ru, о программе Elcut также можно узнать на одноимённом сайте.

Таким образом, благодаря выполненным «специализированным» разработкам и их доступности, как в освоении, так и в цене, для рядовых инженеров-проектировщиков появилась реальная возможность моделирования температурно-прочностного состояния монолитного бетона в конструкциях на ранних сроках его твердения. При этом исследование вопросов выдерживания монолитного бетона – это лишь небольшая часть задач технологического проектирования в строительстве, которая может быть решена с помощью простого и быстрого программного пакета Elcut. Поэтому мы надеемся, что численное моделирование станет для инженеров-проектировщиков хорошей практикой, нежели приятным исключением.

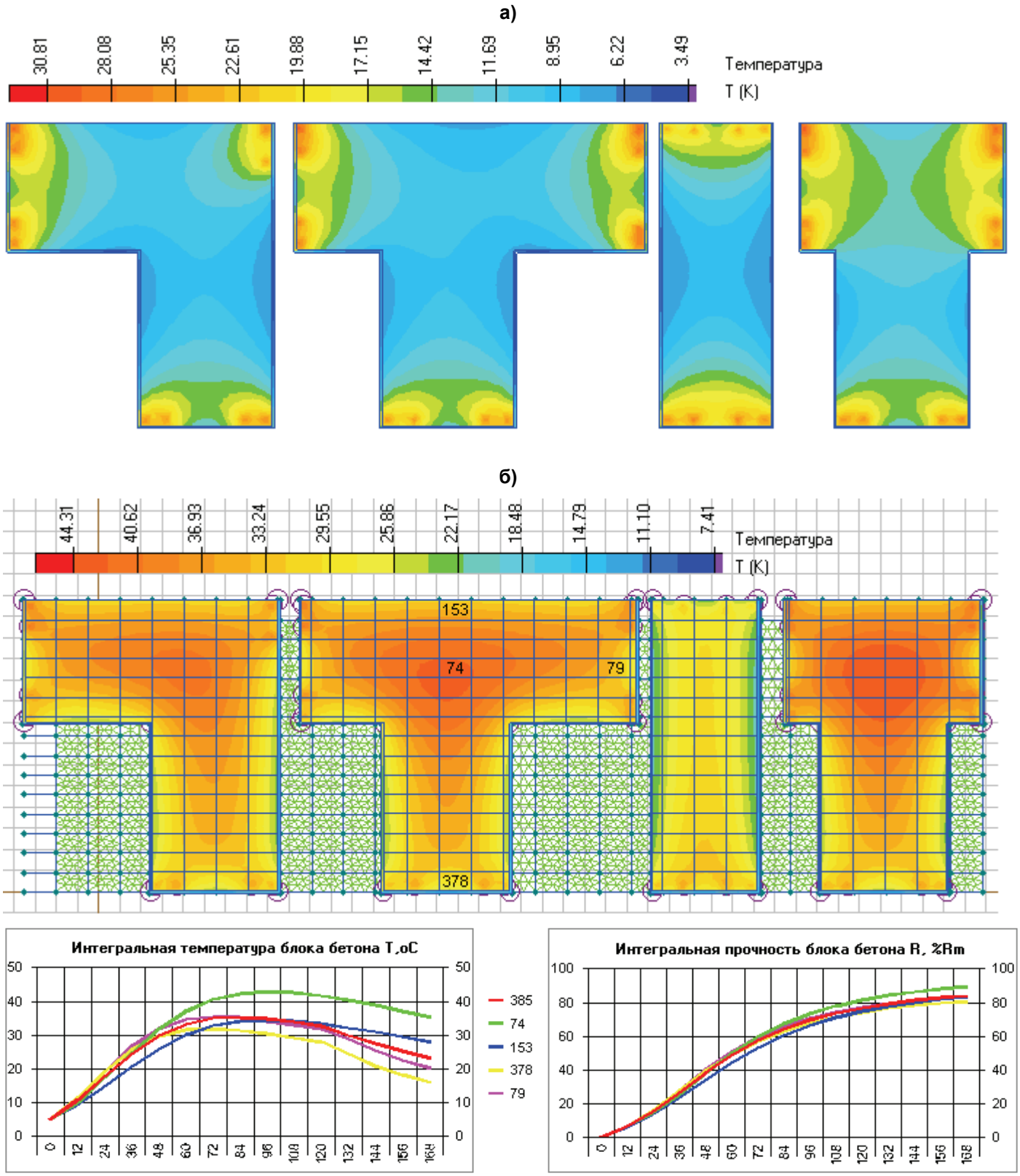


Рисунок 2. Температурное поле в сечении ригелей на 4 день с начала выдерживания:
а) результат первого прикидочного расчёта;
б) результат второго уточняющего расчёта с наложением на модифицированную геометрическую модель (прим.: поз. 385 – интегральная по всем конструкциям температура-прочность)

Автор выражает благодарность участникам рассмотренных проектов: Николаеву Ф.Н. (МГУ), Комиссарову С.В. (МГСУ), а также команде разработчиков и группе поддержки пользователей программы ELCUT (ПК ТОР) за оказанную помощь при разработке и поддержку проекта WinConcret.

Литература:

1. Ремейко О. А., Журов Н. Н., Виноградов Ю. К. Технологическое сопровождение всесезонного монолитного строительства // Обеспечение качества несущих конструкций при всесезонном монолитном домостроении : по материалам семинара-совещания «Монолитное домостроение: отечественная и зарубежная опалубка, способы ведения работ» (Москва, 20 апреля 2000г) / ГУ Мосстройлицензия. М. , 2000. С. 5-8.
2. Зиневич Л. В., Галумян А. В. Скоростное монолитное домостроение: условия достижения высоких темпов строительства и качества бетона получаемых конструкций // Бетон и железобетон. 2009. № 5. С. 23-26.
3. МДС 12-48.2009. Зимнее бетонирование с применением нагревательных проводов / ЗАО ЦНИИОМТП. М., 2009.
4. ACI 306R Cold Weather Concreting. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI. 1982, 1989, 2000 and 2010, 26 p.
5. Журов Н. Н., Комиссаров С. В., Ремейко О. А. Информационное обеспечение качества ответственных монолитных железобетонных конструкций при зимнем бетонировании // Справочник строитель. 2002. №6. С. 15-18.
6. Журов Н. Н., Комиссаров С. В. Система температурно-прочностного контроля бетона в раннем возрасте // Вестник МГСУ. 2010. №4. Том 5. С. 296-300.
7. Зиневич Л. В. Электропрогрев бетона: теория и практика применения и расчёта // сб. науч. тр. Тринадцатой международной межвузовской научно-практической конференции молодых учёных, докторантов и аспирантов «Строительство – формирование среды жизнедеятельности» (Москва, 14-21 апреля 2010г) / МГСУ, РНТО, АСВ, РААСН, РАЕН. М. : Изд-во АСВ. 2010. С. 94-96.
8. Головнёв С. Г. [и др.] Компьютерный контроль и регулирование процессов выдерживания бетона в зимних условиях // Академический вестник УРАЛНИИПРОЕКТ РААСН. 2010. №2. С. 75-78.
9. Доладов М. Ю., Доладов Ю. И. Программа для расчета обогрева бетона при зимнем бетонировании // Строительный вестник Российской инженерной академии. 2006. Выпуск 7. С. 52-56.
10. Трембицкий С. М., Беккер Л. Н., Кебадзе П. Г. Условия достижения высоких темпов и качества строительства зданий из монолитного железобетона // Бетон и железобетон. 2008. №5. С. 8-11.
11. Гныря А. И., Курец В. И. [и др.] Методика определения электротепловых полей в системе «электрод – бетонная смесь» // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2008. № 1. С. 141-145.
12. Титов М. М. Методика электротехнического расчёта устройств для электроразогрева бетонной смеси // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2009. № 4. С. 152-161.
13. Никоноров С. В., Байбурин А. Х., Кнутарева Н. В. Методика расчёта технологических параметров метода «термоса», обеспечивающая гарантированный набор прочности бетона // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2005. № 13. С. 79-80.
14. Алямовский А. А. [и др.] SolidWorks – компьютерное моделирование в инженерной практике. СПб. : БХВ Петербург, 2005. 799 с.
15. Рыжов С. А. ABAQUS – многоцелевой конечно-элементный комплекс для инженерного анализа // САПР и графика. 2003. №1. Доступ из сети Интернет URL: http://www.sapr.ru/article.aspx?id=6736&iid=275 (дата обращения: 14.03.2011).
16. Дубицкий С. Д., Поднос В. Г. ELCUT – инженерная система моделирования двумерных физических полей // CADmaster. 2001. №1. С. 17-21.
17. Руководство по конструкциям опалубок и производству опалубочных работ / ЦНИИОМТП Госстроя СССР. М. : Стройиздат. 1983. 250 с.
18. Руководство по зимнему бетонированию с применением метода термоса / НИИЖБ Госстроя СССР. М. : Стройиздат. 1975. 192 с.

** Людмила Владимировна Зиневич, Москва, Россия*
Тел. моб.: +7(903)163-32-79; эл. почта: zlv-com@ya.ru

Исследование характеристик наномодифицированных сухих строительных смесей

Ведущий специалист Е.Е. Кривцов,
ООО «Пионер»;
к.ф.-м.н., заведующий кафедрой Н.М. Никулин;
заведующая лабораторией Е.В. Ясинская*,
ГОУ Балтийский Федеральный Университет имени Иммануила Канта

Ключевые слова: сухие строительные смеси; фасадный клей; наномодификация; углеродные наноструктуры; углеродные нанотрубки.

Строительство сегодня является одной из самых динамично развивающихся отраслей народного хозяйства. Сдерживающим фактором успешного развития строительного бизнеса является дефицит отечественных строительных материалов, в частности, сухих строительных смесей (ССС), конкурентоспособных по сравнению с зарубежными аналогами. Использование промышленно выпускаемых ССС изменило облик строительных работ во всем мире благодаря интенсивному изучению влияния процесса наномодифицирования на свойства бетонов. [1-9]

В странах Западной Европы производство и применение сухих смесей в строительстве носит массовый характер. В пересчете на одного жителя производство сухих смесей составляет в Германии около 30 кг в год, а в Финляндии и Швеции около 20 кг; в Польше эта цифра составляет около 23 кг. В России объем потребления сухих смесей значительно ниже – немногим более 2 кг в год. Современное производство сухих смесей в России находится в стадии становления, но уже достигнуты определенные успехи. На территории России действует порядка 15 заводов на зарубежном оборудовании с производительностью 10-50 тыс. тонн смесей в год. Однако некачественный цемент, произведенный в России по старинной технологии на изношенном оборудовании, дорогостоящие импортные полимерные добавки и отсутствие отечественных качественных добавок тормозят дальнейшее развитие отрасли. Перспективным направлением решения актуальной проблемы выпуска конкурентоспособных строительных материалов является использование процесса наномодифицирования ССС на цементно-песчаной основе. В данной работе исследовались строительные материалы, полученные в процессе двухстадийного наномодифицирования: на первом этапе основные компоненты подвергались механоактивации (измельчению). На втором этапе в смесь добавлялись углеродные наноструктуры (фуллерены, нанотрубки, аморфный углерод).

Известно [10-12], что при добавке фуллеренов прочность на сжатие клеевых составов мало отличается от прочности механоактивированного материала, однако добавление углеродных наноструктур обеспечивает образование кристаллогидратов и формирование фибриллярной микроструктуры микронного размера, что является дополнительным фактором улучшения физико-механических характеристик ССС. Механизм влияния углеродных наноструктур на структуру и свойства ССС заключается в ускорении коагуляции частиц твердой фазы, уменьшении расклинивающего давления воды. Помимо этого, углеродные наноструктуры образуют фрактальные перколяционные сетки, способствующие определенному структурообразованию воды. Такое воздействие приводит к образованию поверхностно-активных ионов, к подщелачиванию раствора и росту эффективной концентрации пластификатора. Наноструктурирование воды затворения наномодификатором на основе углеродных наноструктур приводит к снижению вязкости цементного теста в 1,4-1,7 раза. При этом в смесях без наномодификатора была зафиксирована тенденция к повышению вязкости через 50-55 минут от начала затворения [13]. Выявились и другие положительные качества ССС, модифицированных углеродными наноструктурами: сократился расход воды, необходимой для затворения растворов, что повысило прочность строительных смесей на сжатие.

Многочисленные исследования показали, что измельчение цемента – действенный способ увеличения его прочности и скорости твердения [14], а увеличение удельной поверхности как инертных, так и вяжущих компонентов обуславливает увеличение их активности (реакционной способности), и, как следствие, получение бетонов, имеющих повышенную прочность, особенно в первые сутки твердения. Дробление исходного материала сопровождается снижением числа опасных дефектов в объёме, что приводит к возрастанию прочности, обусловленной межчастичным взаимодействием на уровне химических связей [15]. Измельченные до наноразмеров частицы диоксида кремния (SiO_2), основного компонента ССС, благодаря высокой поверхностной энергии более активно агрегируются, что позволило создать более прочные материалы с пониженным содержанием цементного или полимерного связующего [11], что, в свою очередь, привело к снижению себестоимости ССС. Как показали исследования, себестоимость наномодифицированного клеевого материала уменьшилась в 1,5-2,0 раза.

Исследование влияния процесса наномодифицирования на физико-технические характеристики ССС было проведено в инновационном парке БФУ им. И. Канта (г. Калининград) совместно с ООО «СК «Пионер»». Механоактивация ССС осуществлялась в дезинтеграторе, который обеспечивал необходимую тонкость помола, разнофракционность, проточный способ размола и т.д. Эффективность измельчения оценивалась по результатам дисперсионного анализа. Размер и форму образующихся частиц оценивали как методом просева через стандартный набор сит, так и методом электронной сканирующей микроскопии.

Влияние домола компонентов смеси и модифицирующее действие углеродных наноструктур на свойства получаемых материалов оценивали по их трещиностойкости и прочностным характеристикам. Исследования физико-технических характеристик получаемых материалов производились в специализированных аккредитованных лабораториях по стандартным методикам. Результаты исследований показали, что введение УНТ в состав ССС приводило к заметным изменениям в структуре цементного камня. При этом цементный камень существенно упрочнялся: в 2–3 раза возрастала работа его разрушения.

На рис. 1 представлены сканы поверхности цементного камня до наномодификации (1а) и после механоактивации и добавления углеродных нанотрубок (УНТ). (Концентрация УНТ 0,005%.) (1б), а на рис. 2 – структура клеевого материала на цементно-песчаной основе: исходного (2а) и домолотого, модифицированного УНТ (2б). Концентрация УНТ 0,005%.

а) б)

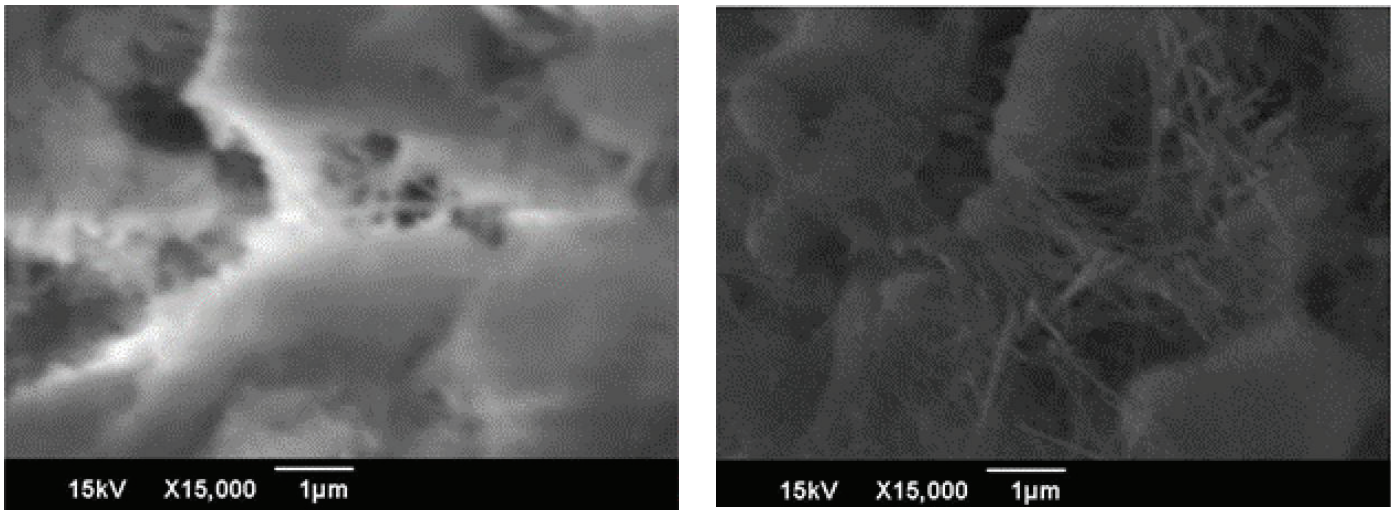


Рисунок 1. Структура цементного камня: до наномодификации (а) и домолотый, модифицированный УНТ (б). Концентрация УНТ 0,005%

а) б)

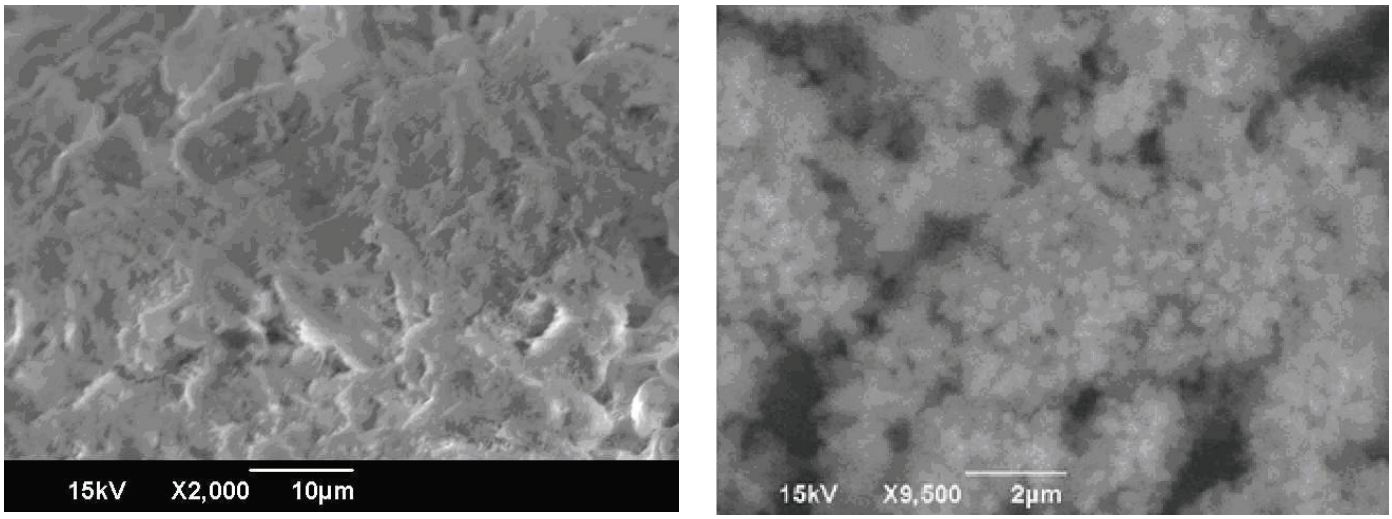


Рисунок 2. Структура клеевого материала на цементно-песчаной основе: исходного (а) и домолотого, модифицированного УНТ (б). Концентрация УНТ 0,005%

Из рисунков следует, что нанотрубки в цементном растворе ведут себя как «зародыши» кристаллов, но поскольку они имеют не точечную, а протяженную форму, кристаллы образуются вытянутые [1]. Разрастаясь, кристаллы переплетаются, частично прорастают друг в друга и образуют пространственную сеть, пронизывающую и связывающую в единое целое весь цементный камень (рис. 1).

На рис. 1а показана структура обычного цементного камня, а на рис. 1б – такой же цементный камень после введения 0,005% УНТ. Образцы изготовлены в один день. Сканирование проводилось на третий день с момента изготовления. Видно, что заполнение микропор за счет кристаллизации более плотное. Наблюдается и равномерный рост кристаллогидратов при твердении цемента (рис. 2б, рис. 3).

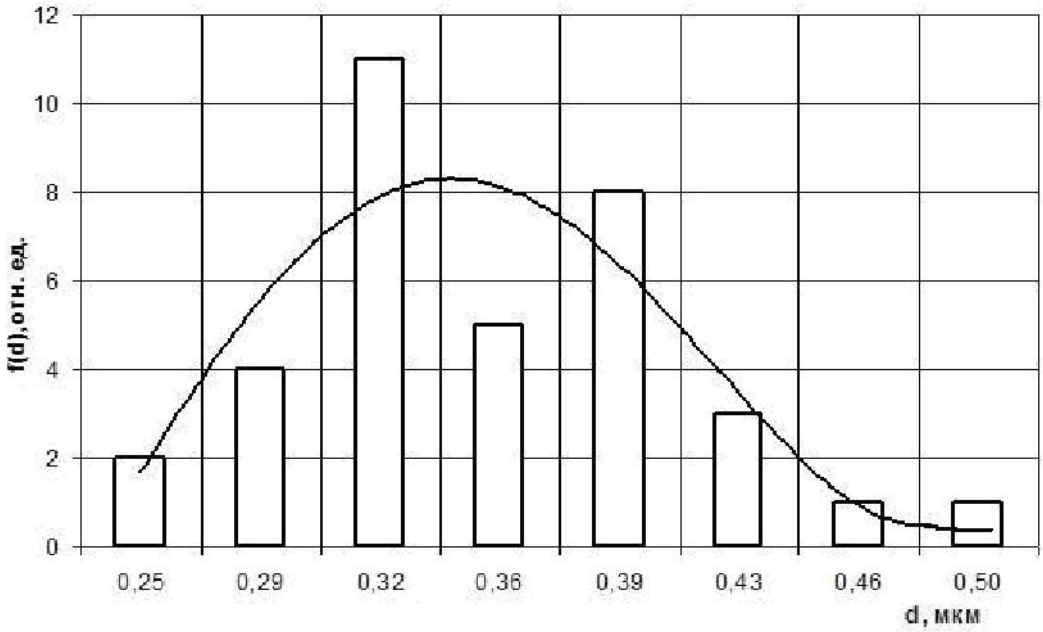


Рисунок 3. Гистограмма и функция распределения по размерам зёрен в наномодифицированном клеевом материале в сколе после окончательного созревания

На рис. 4 приведена сравнительная кинетика набора прочности не модифицированного (образец 1) и наномодифицированного клеевого материала на основе цемента (образец 2). Видно, что максимальная прочность образца 1 достигается через 21 день, а в случае образца 2 – через 7 дней, причем прочность его в 1,5 раза выше. Следовательно, использование модифицированного материала на строительных объектах может позволить заметно сократить время на последующие по технологическому процессу операции. Оптимальное содержание УНТ в составе материалов составило 0,005% по весу ССС, что практически не повлияло на его себестоимость.

Достигнутые в результате наномодификации характеристики ССС сохраняются в течение длительного времени: по истечении 5 мес. характеристики материалов, хранящихся в стандартной упаковке (трехслойный мешок 25 кг) в отапливаемом помещении со средней температурой 20–250°С, не изменились, что было подтверждено результатами независимых испытаний.

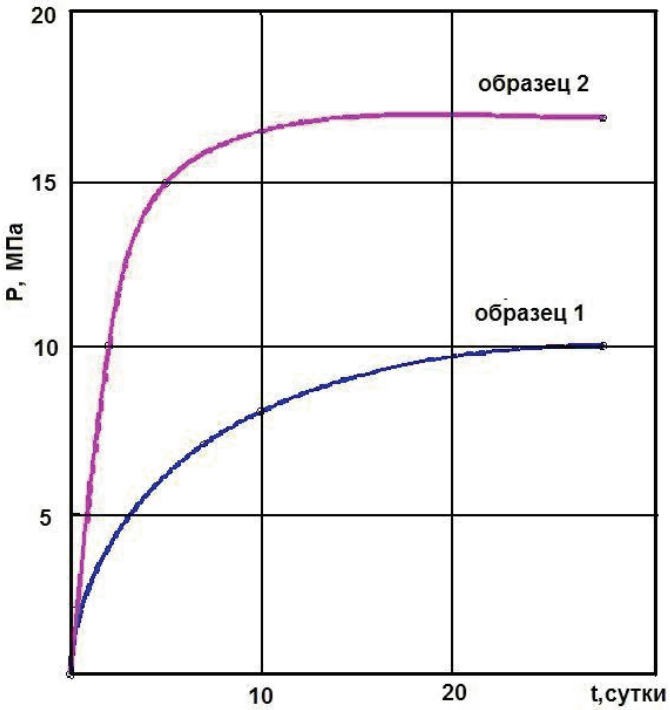


Рисунок 4. Кинетика набора прочности клеевого состава

В заключение следует отметить, что двухстадийное наномодифицирование ССС с использованием механоактивации и допирования УНТ позволило создать строительный материал с физико-техническими характеристиками, превосходящими характеристики традиционных материалов, и обладающий большим конкурентоспособным потенциалом.

Литература:

1. Sobolev K., Ferrada-Gutierrez V. How Nanotechnology Can Change the Concrete Word. Part 2 // American Ceramic Society Bulletin, №1, 2005, Pp. 16-19.
2. Пономарев А. Н., Никитин В. А. «Поли-эдральные многослойные углеродные наноструктуры фуллероидного типа и способ их получения». Патент РФ на изобретение № 2196731, 2002.
3. Епифанов И. С., Пономарев А. Н., Донской А. А., Каширин С. В. Модификация свойств полимерных материалов малыми концентрациями фуллероидов // Перспективные материалы. 2006. №2. С. 15-18.
4. Юдович М. Е., Пономарев А. Н., Гареев С. И. Поверхностно-активные свойства наномодифицированных пластификаторов // Строительные материалы. 2008. №3. С. 2-3.
5. Тараканов О. В., Тараканова У. О. Формирование микроструктуры наполненных цементных материалов // Инженерно-строительный журнал. 2009. №8. С. 13-16.
6. Пономарев А. Н. Высококачественные бетоны. Анализ возможностей и практика использования методов нанотехнологий // Инженерно-строительный журнал. 2009. №6. С. 25-33.
7. Кишеневская Е. В., Ватин Н. И., Кузнецов В. Д. Перспективы применения нанобетона в монолитных большепролетных ребристых перекрытиях с постнапряжением // Инженерно-строительный журнал. 2009. №2. С. 54-58.
8. Okada A., Usuki A. Twenty Years of Polymer-Clay Nanocomposites // Macromolecular Materials and Engineering, №291, 2006. Pp. 1449–1476.
9. Moniruzzaman M., Winey K.I. Polymer Nanocomposites Containing Carbon Nanotubes // Macromolecules, №39, 2006, Pp. 5194–5205.
10. Юдович М. Е., Пономарев А. Н. Наномодификация пластификаторов. Регулирование их свойств и прочностных характеристик литых бетонов // СтройПРОФИль. 2007. № 6. С. 49–51.
11. Ваучский М. Н. Нанобетон: мифы и реальность // СтройПРОФИль. 2007. № 8. С. 40-42.
12. Королев Е. В., Баженов Ю. М., Береговой В. А. Модифицирование строительных материалов наноуглеродными трубками, фуллеренами // Строительные материалы. 2006. № 8. С. 2.
13. Волженский А. В., Попов Л. Н. Смешанные портландцементы повторного помола и бетоны на их основе. М. : Госстройиздат, 1961. 107 с.
14. Лепилин А. Б., Коренюгина Н. В., Векслер М. В. Селективная дезинтеграторная активация портландцемента // Строительные материалы. 2007. № 7. С. 2-4.
15. Аввакумов Е. Г. Механические методы активации химических процессов. Новосибирск : Наука,1986. 303 с.

**Елена Витальевна Ясинская, Калининград, Россия*

Тел. моб.: +7(911)462-03-16; эл. почта: veya_2002@mail.ru

Влажностное состояние современных конструкций из автоклавного газобетона в условиях эксплуатации

Начальник отдела технического развития Г.И. Гринфельд*;
инженер-технолог-лаборант С.А. Морозов,
ООО «АЭРОК СПб»;
студент И.А. Согомонян;
студент П.С. Зырянов,
ГОУ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Ключевые слова: автоклавный ячеистый бетон; газобетон; эксплуатационная влажность; высыхание.

В Санкт-Петербурге и области в настоящий момент действуют шесть организаций, производящих ячеистый бетон автоклавного твердения. На всех предприятиях ячеистый бетон производится газовым способом поризации по литьевой технологии. Литьевая технология на практике означает массовую влажность бетона на выходе из автоклавов на уровне 35–45% (большие значения влажности соответствуют меньшим плотностям). Аналогичная ситуация наблюдается в других регионах: более 80% всех автоклавных ячеистых бетонов в России производятся по литьевой технологии [1].

Высокая влажность, обусловленная в начальный период эксплуатации наличием технологической и построечной влаги, быстро снижается, достигая постепенно эксплуатационного уровня [2,3]. Установившаяся влажность ячеистого бетона автоклавного твердения в составе ограждающих стен составляет 3–6% по массе [2–6]. Однако повышенная влажность ячеистого бетона в начальный период эксплуатации обуславливает меньшие расчетные значения прочности бетона в кладке [7]. Прочность бетона, в свою очередь, влияет и на несущую способность анкерных креплений для навесных вентилируемых фасадов, если таковые анкерятся в тело ячеистого бетона. Контрольные испытания анкеров на увлажненной ячеистобетонной кладке даже служат причиной возникновения заблуждений, касающихся ограничений в применимости ячеистобетонной кладки в качестве основы для крепления навесных фасадных систем [8]. Необходимость учитывать влияние начальной влажности и сравнительно невысокую несущую способность анкеров в ячеистых бетонах невысоких плотностей повышает интерес к фасадным системам с жесткими направляющими профилями, позволяющими не использовать кладку, заполняющую ячейки несущего железобетонного каркаса, в качестве основы для крепления, ограничиваясь анкеровкой в торцы железобетонных элементов каркаса [9, 10].

Таким образом, информация о динамике изменения влажности кладки в начальный период эксплуатации позволяет оценивать сроки выхода конструкций на расчетные прочностные и теплофизические показатели.

Автоклавный газобетон позиционируется на рынке как элемент энергосберегающих конструкций. При этом следует обратить внимание, что при оценке экономической эффективности энергосберегающих мероприятий необходимо учитывать срок службы или эффективной эксплуатации ограждающих конструкций [11], учитывать теплотехническую однородность кладки [12, 13, 14], а также принимать в расчет вид наружной отделки конструкции [15]. Единственным критерием долговечности каменной кладки является морозостойкость использованных для ее возведения материалов (см. СНиП II-22-81* «Каменные и армокаменные конструкции»), что подтверждается натурными и лабораторными исследованиями [16-19]. Вопрос влияния различных факторов на долговечность ячеистых бетонов подробно рассмотрен в монографии [20], где в частности отмечено, что в условиях штатной эксплуатации структура бетона со средней плотностью 400-700 кг/м^3 имеет большой объем «резервной» пористости, что делает ячеистый бетон практически неограниченно морозостойким.

При этом, опуская особенности начального периода, в теплотехнических расчетах за расчетную принимается влажность строительных материалов, устанавливающаяся в эксплуатируемых конструкциях через некоторое время после окончания строительства, после их выхода на квазистационарный влажностный режим. Расчетные значения влажности автоклавных ячеистых бетонов в зависимости от режима эксплуатации конструкций с их применением были приняты до 1970-х (СНиП II-А.7-71 «Строительная теплотехника») и на общегосударственном уровне с тех пор не корректировались (СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий»). В то же время результаты более поздних исследований учитывались при разработке территориальных нормативов (см. например: ТСН 301-1-97*. «Руководство по применению газосиликата для конструкций с повышенным термическим сопротивлением. Теплотехнические характеристики» / Администрация Воронежской области) и стандартов организаций (СТО 00044807-001-2006 «Теплозащитные свойства ограждающих конструкций» / Российское общество инженеров строителей).

Целью натурного обследования эксплуатирующихся наружных ограждающих конструкций и одной из целей возведения экспериментальных стен являлось определение фактического значения средней за отопительный период влажности газобетонного слоя таких конструкций, а также выявление кинетики его выхода на установившиеся значения влажности.

Влажность газобетона определялась по методике ГОСТ 12852.2–77 «Бетон ячеистый. Метод определения влажности и объемной массы». Образцы бетона из кладки отбирались шлямбурами (диаметром 40 мм и диаметром 12 мм). Керны выбуривались на всю толщину конструкции фрагментами по 50 мм. Полученные таким образом цилиндры высотой по 5 см служили источниками данных о распределении влажности по толщине стены.

Описание экспериментальных конструкций

1. Осенью 2004 г. на территории Таллинского технического университета были выполнены два фрагмента стен (1750×2450 мм) северной и южной ориентации, ограждающих помещение с постоянным микроклиматом (t_{int} = 20 °C, φ_{int} = 50%).

Состав конструкции: автоклавный газобетон на смешанном вяжущем D400 B2 (AEROC AS), 375 мм, кладка на тонкослойный раствор (толщина шва 1–3 мм), штукатурка с двух сторон (толщина слоя 3 мм, паропроницаемость μ = 0,05 мг/м×ч×Па). Из конструкций ежемесячно проводился отбор образцов для определения влажности. Наблюдения велись до осени 2007 г.

2. В мае 2007 г. на территории ОАО «Санкт-Петербургский зональный научно-исследовательский и проектный институт жилищно-гражданских зданий» (ранее ЛенЗНИИЭП) в одном из корпусов была встроена и с 2007 г. по настоящее время наблюдается наружная стена северо-восточной ориентации, ограждающая эксплуатируемое офисное помещение. Из стены не реже трех раз в год отбираются керны для определения влажности газобетонного слоя.

Состав конструкции: автоклавный газобетон на смешанном вяжущем D500 B2 (ФГУП 211 КЖБИ), 400 мм, кладка на тонкослойный раствор (толщина шва 1–3 мм), облицовка с наружной стороны – 120 мм лицевого силикатного кирпича (зазор между слоями кладки отсутствует), внутренняя отделка – гипсокартон на металлическом каркасе, без герметизации, со смотровыми проемами для отбора проб.

Общее описание обследованных эксплуатируемых конструкций

С 1998 г. по настоящее время конструктивные решения наружных стеновых ограждений в Санкт-Петербурге и области с автоклавным газобетоном в качестве единственного теплоизоляционного материала не претерпели существенных изменений. Единственным (значимым) изменением стал массовый переход с применения бетона марки по средней плотности D500 на бетон D400 – переход произошел в 2006–2007 гг. вследствие изменения рыночного предложения.

Обследовались конструкции с применением газобетона марки D400 2006–2007 гг. постройки, преимущественно неблагоприятной ориентации (северо-западной, северной, северо-восточной). Конструкции двухслойные (с облицовкой газобетонного слоя кирпичом – как с оставлением, так и без оставления воздушного зазора) и однослойные. Однослойные конструкции в большинстве случаев имели наружные штукатурные слои.

Всего за отопительные сезоны 2008/09 и 2009/10 гг. было обследовано 76 конструкций. Возраст конструкций составлял 1,5–3 года. Средний возраст кладки на момент обследования составлял 22,5 месяца. В рамках данной статьи приводятся данные по влагосодержанию наиболее характерных конструкций.

Результаты

1. Экспериментальная конструкция на территории Таллиннского ТУ (2004-2007 гг.)

Начальное влагосодержание фрагментов стен сразу по окончании кладочных работ было близко к послеавтоклавной влажности и было несколько выше 30% по массе.

Представленная на рис. 1 кривая показывает изменение средней по толщине стены массовой влажности в процессе эксплуатации конструкции.

При фактических погодных условиях 2004–2007 гг. в Таллинне переход газобетонного слоя наблюдаемой конструкции от высыхания к сезонным колебаниям влажности (выход на квазистационарный влажностный режим) практически завершился за 3 года. Распределение влаги по толщине стены к концу периодов влагонакопления приведено на рис. 2.

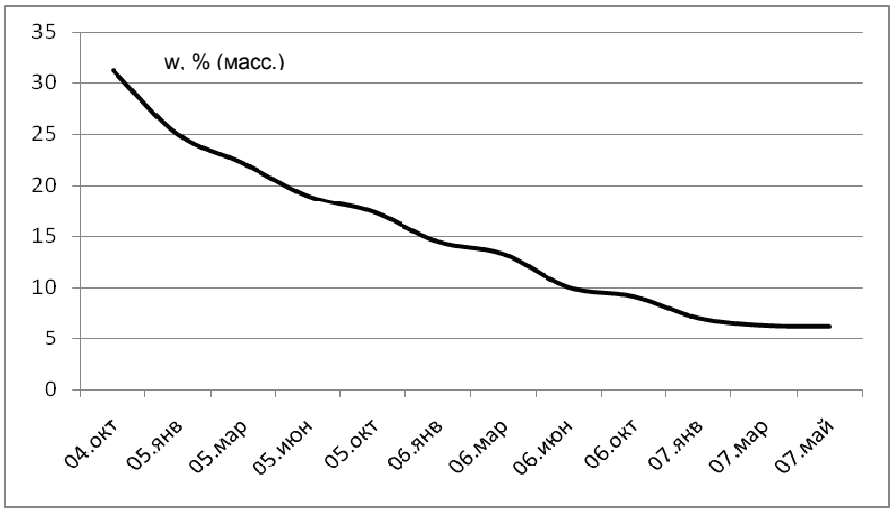


Рисунок 1. Динамика изменения во времени среднего по толщине стены значения весовой влажности газобетона (D400, 375 мм, штукатурка)

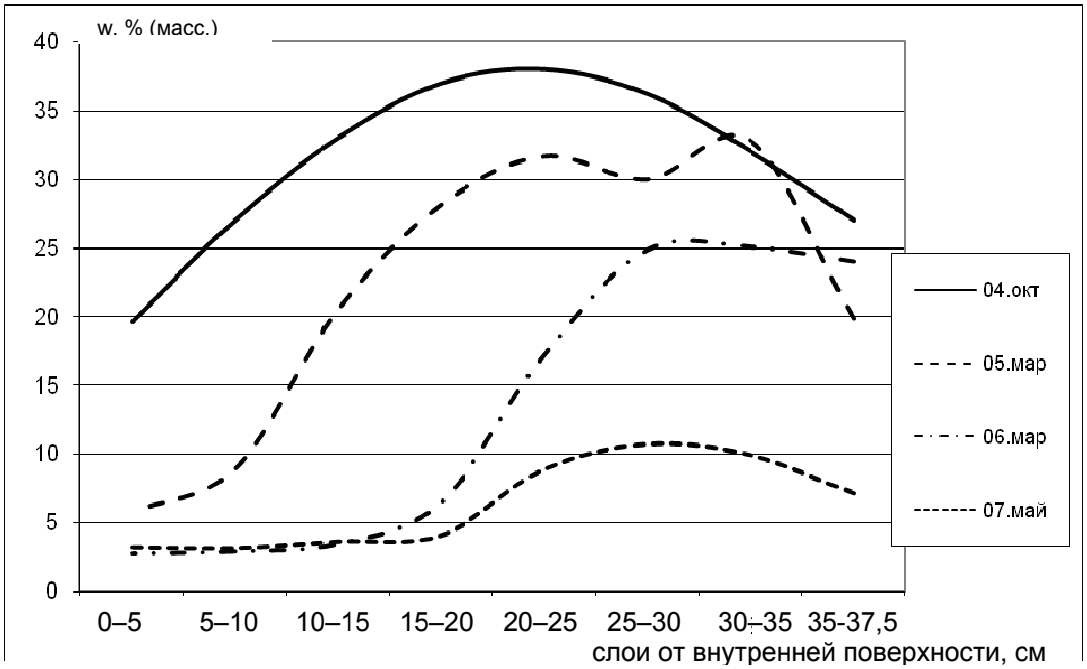


Рисунок 2. Распределение влаги по толщине стены (Таллиннский технический университет)

2. *Экспериментальная конструкция на территории ОАО СПбЗНИиПИ (2007 г. – настоящее время)*

Влажность газобетона по толщине стены после завершения этапа монтажа стеновой конструкции не контролировалась, но по результатам, полученным на основании результатов испытаний случайного отбора образцов, составляла около 30 %. В целом условия возведения испытываемой стеновой конструкции были максимально приближены к реальным условиям на строительной площадке: материал для возведения стен был заказан перед началом выполнения монтажных работ, строительные работы были начаты после установления необходимых для возведения стен температурных условий. В дальнейшем, влажность контролировалась в среднем три раза в год: в начале отопительного периода, в его середине и в конце, а также несколько раз значения влажности по толщине стены контролировались в промежуточные периоды, например, летом – в августе месяце.

На рис. 3 и 4 показаны изменение средней влажности газобетонного слоя с течением времени и распределение влаги по толщине стены в разные периоды.

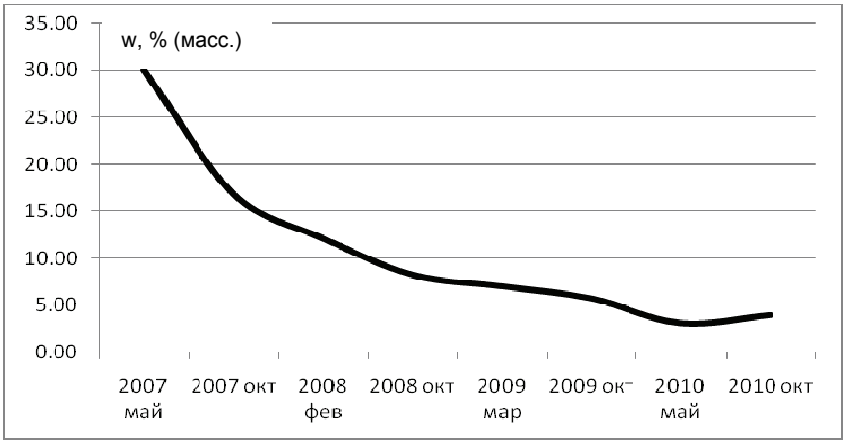


Рисунок 3. Динамика изменения во времени среднего по толщине стены значения весовой влажности газобетона (D500, 400 мм, облицовка ½ кирпича)

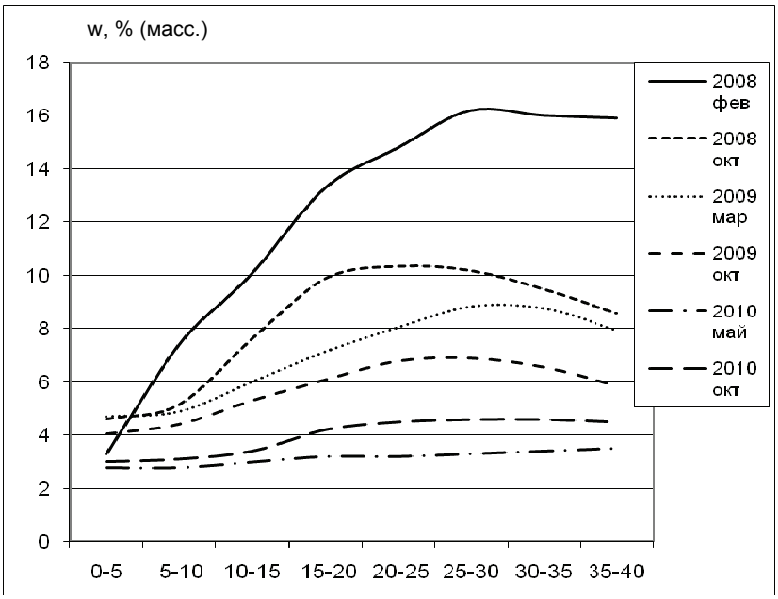


Рисунок 4. Распределение влаги по толщине стены (СПбЗНИиПИ)

3. Натурные обследования эксплуатируемых конструкций (СПб и ЛО, 2008–2010 гг.)

На рис. 5 приведены данные по распределению влаги по толщине стен, наиболее характерные для кладок обследованных зданий. Ряд 11 – обобщающая кривая, показывающая средние значения влажности различных слоев кладки.

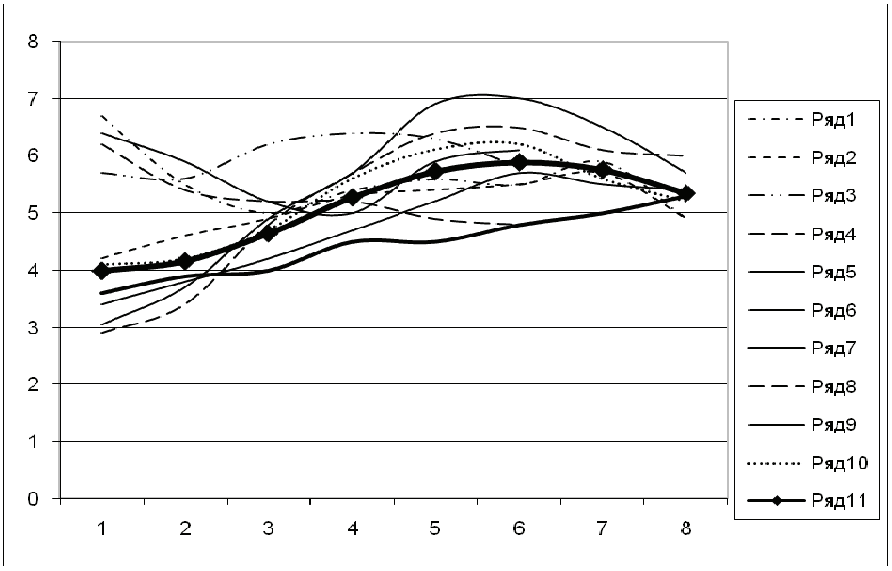


Рисунок 5. Распределение влаги по толщине стены в обследованных конструкциях 2006–2007 годов постройки. Ряд 11 – обобщающая кривая

Данные смежных исследований

Исследования, направленные на выявление влажностного состояния однослойных бетонных ограждающих конструкций, велись в нашей стране и за рубежом на протяжении большей части двадцатого века [21]. Постоянная корректировка значений расчетной влажности материала в сторону их уменьшения – общая тенденция, обусловленная изменением целей тепловой защиты и связанным с этим изменением конструктивных решений ограждающих конструкций. Так, расчетная надбавка к теплопроводности автоклавных ячеистых бетонов в сухом состоянии, учитывающая влажностное состояние в условиях эксплуатации, последовательно снижалась в германских нормативах с 1952 по 2001 г. [22]. Сходные изменения отображены в разных изданиях книги «Ячеистый бетон. Руководство» [23]. Данные, показывающие значения эксплуатационной влажности, отличные от указанных в СНиП II-А.7-71, СП 23-101-2004 приводятся и по результатам современных отечественных натурных обследований [6].

Влажностное состояние и выход на установившуюся влажность ячеистобетонных конструкций исследуются и в климатических условиях, близких к российским [24]. Общий подход к назначению расчетных теплотехнических характеристик строительных материалов также претерпел изменения за последние десятилетия. Поскольку задачи нормирования теплозащитных свойств ограждающих конструкций изменились и вместо обеспечения минимального комфорта направлены на обеспечение экономичного расходования ресурсов, изменен и подход к назначению расчетных характеристик материалов: вместо обеспеченности 90% результатами исследований по умолчанию становятся средние значения.

Современные тенденции в определении и назначении расчетных температурно-влажностных характеристик различных строительных материалов в связи с развитием вычислительной техники демонстрируют всё большую дифференцированность. Поскольку состояние материала меняется в зависимости от типа конструкции, в которой он применен, выполняемой функции, степени однородности слоя, содержащего материал, и ряда других поддающихся формализации факторов, эксплуатационные характеристики материалов могут определяться расчетным путем. Применительно к ячеистым бетонам существуют как отечественные инженерные подходы к расчету влажностного режима конструкций с применением ячеистого бетона [25], так и зарубежные расчетные модели [26].

Выводы

1. Снижение влажности газобетона марки D400 от отпускной до установившейся эксплуатационной происходит в климатических условиях Северо-Запада в течение трех лет.

2. Фактическая установившаяся влажность бетона марки D400 в обследованных конструкциях ниже введенной в нормативные документы к 1970 гг.

Литература:

1. Гринфельд Г. И. Производство автоклавного газобетона в России: история, современность, перспективы // Материалы семинара «Применение современного автоклавного газозолобетона в строительстве». Декабрь 2010 г. Екатеринбург, 2010. С. 26-31.

2. Автоклавный ячеистый бетон: Пер. с англ. / Ред.совет: Г.Бове (пред.) и др. М. : Стройиздат, 1981. 88 с.

3. Ухова Т. А., Паплавскис Я. М., Гринфельд Г. И., Вишневский А. А. Разработка межгосударственных стандартов взамен ГОСТ 21520-89 и ГОСТ 25485-89 в части ячеистых бетонов автоклавного твердения // Строительные материалы. 2007. №4. С. 2–4.

4. ГОСТ 31359-2007. Ячеистые бетоны автоклавного твердения. Технические условия.

5. Лундышев И. А. Каркасные системы, применяемые в ограждающих конструкциях при строительстве из монолитного пенобетона // Инженерно-строительный журнал. 2009. №1. С. 13-16.

6. Славчева Г. С., Чернышов Е. М., Коротких Д. Н., Кухтин Ю. А. Сравнительные эксплуатационные теплозащитные характеристики одно- и двухслойных стеновых газосиликатных конструкций // Строительные материалы. 2007. №4. С. 13–18.

7. Бабков В. В., Кузнецов Д. В., Сахибгареев Р. Р., Чуйкин А. Е., Халимов Р. К., Гайсин А. М. Проблемы долговечности автоклавного газобетона // Башкирский химический журнал. 2006. Т. 13. №2. С. 97-99.

8. Немова Д. В. Навесные вентилируемые фасады: обзор основных проблем // Инженерно-строительный журнал. 2010. №5. С. 7-11.

9. Гринфельд Г. И. Ограждающие конструкции из газобетонных блоков с облицовкой навесными фасадами // Строительные материалы. Архитектура. 2009. №10. С. 75–78.

10. Горшков А. С., Попов Д. Ю., Глумов А. В. Конструктивное исполнение вентилируемого фасада повышенной надежности // Инженерно-строительный журнал. 2010. №10. С. 5–8.

11. Горшков А. С. Энергоэффективность в строительстве: вопросы нормирования и меры по снижению энергопотребления зданий // Инженерно-строительный журнал. 2010. №1. С. 9-13.

12. Кривошеин А. Д., Федоров С. В. К вопросу о расчете приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2010. №8. С. 21-27.

13. Горшков А. С., Гладких А. А. Влияние растворных швов кладки на параметры теплотехнической однородности стен из газобетона // Инженерно-строительный журнал. 2010. №3. С. 39-42.

14. Гринфельд Г. И., Пинскер В. А., Вылегжанин В. П.Теплофизические испытания фрагмента кладки стены из газобетонных блоков марки по плотности d400 // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 8. С. 17-19.

15. Ватин Н. И., Глумов А. В., Горшков А. С. Влияние физико-технических и геометрических характеристик штукатурных покрытий на влажностный режим однородных стен из газобетонных блоков // Инженерно-строительный журнал. 2011. №1. С. 28–33.

16. Горшков А. С. Оценка долговечности стеновой конструкции на основании лабораторных и натурных испытаний // Строительные материалы. 2009. №8. С.17–21.

17. Горшков А. С., Кнатько М. В., Рымкевич П. П. Лабораторные и натурные исследования долговечности (эксплуатационного срока службы) стеновой конструкции из автоклавного газобетона с облицовочным слоем из силикатного кирпича // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 8. С. 20-26.

18. Кнатько М. В., Ефименко М. Н., Горшков А. С. К вопросу о долговечности и энергоэффективности современных ограждающих стеновых конструкций жилых, административных и производственных зданий // Инженерно-строительный журнал. 2008. №2. С. 50-53.

19. Горшков А. С., Рымкевич П. П., Пестряков И. И., Кнатько М. В. Прогнозирование эксплуатационного срока службы стеновой конструкции из автоклавного газобетона с облицовочным слоем из силикатного кирпича // Строительные материалы. 2010. №9. С. 49–53.

20. Силаенков Е. С. Долговечность изделий из ячеистых бетонов. М. : Стройиздат, 1986. 176 с.

21. Кауфман Б. П. Теплопроводность строительных материалов. М. : Государственное издательство по строительству и архитектуре, 1955. 159 с.

22. Др. Крефт О., Шох Т. Технологический исследовательский центр Xella. Влияние влажности на теплопроводность газобетона // Alitinfom. Международное аналитическое обозрение. 2010. №1. С. 60–65.

23. Homann M. Porenbeton Handbuch., Bauverlag, Guetersloh. 2005.

24. Tariku F.; Kumaran K. Experimental and Analitical Investigations on tha Drying Process Undergone by Aerated Concrete. II Final Report from ASHRAE Research Project 1018-RP. 2002.

25. Гагарин В. Г., Козлов В. В. Основы для инженерной методики расчета влажностного режима ограждающих конструкций с применением ячеистого бетона // Алитинформ. 2010. №1(13). С. 59–63.

26. Tariku F.; Kumaran M.K. Hydrothermal modeling of aerated concrete wall and compraison with field experiment. 3rd International Duilding Phisics Conference, Montreal, QC., August 27, 2006. Pp. 321–328.

** Глеб Иосифович Гринфельд, Санкт-Петербург, Россия*

Тел. раб.: +7(812)640-33-40; эл. почта: gleb.grinfeld@aeroc.ru

Влияние вентилируемого зазора на теплофизические характеристики систем наружного утепления фасадов зданий с применением тонкослойной штукатурки

Генеральный директор С.С. Солощенко*,
ООО «Стакковент»

Ключевые слова: строительная теплофизика; влажностный режим конструкции; теплопроводность; сорбционная влажность.

В последнее время все большую популярность завоевывают системы наружного утепления фасадов зданий с применением тонкослойной штукатурки. Основной задачей для производителей сухих смесей является улучшение теплотехнических характеристик защитно-декоративного слоя, особенно в части его паропроницаемости [1]. На сегодняшний день средний показатель паропроницаемости μ для многих клеевых и штукатурных составов составляет 0,01-0,03 мг/м·ч·Па [2], что при расчете влажностного режима конструкции в определенных условиях часто дает отрицательный результат, а именно: наблюдается значительное повышение сорбционной влажности защитно-декоративного слоя, и происходит частичное влагонакопление в годовом периоде [3, 4]. Стоит ли говорить о том, что при текущем качестве строительства, а также возможной критической комбинации указанных условий, вероятность возникновения дефектов и снижение долговечности системы возрастает в разы [1].

Из-за большой разницы температуры наружного и внутреннего воздуха в зимний период возникает значительный градиент парциального давления водяного пара [5]. Влага, содержащаяся в воздухе, перемещается в направлении из помещения наружу посредством диффузии. Применение в конструкциях высокоэффективных утеплителей с низкой теплопроводностью и высокой паропроницаемостью приводит к возникновению зоны возможной конденсации на границе теплоизоляционного и штукатурного слоев, что способствует избыточному увлажнению наружного слоя штукатурки [6]. Такое явление крайне негативно проявляется в период попеременного замораживания-оттаивания, способствуя появлению микротрещин на штукатурном слое, что впоследствии может приводить к свободному проникновению дождевой влаги, усиливаемой ветровым давлением [7]. Систематическое воздействие указанных негативных факторов со временем может приводить к частичному разрушению фасада и снижению теплозащитных свойств наружной стены [8].

С недавнего времени все вышеперечисленные проблемы предложено решать путем введения в систему специального материала – фасадного мата, обеспечивающего под штукатурным слоем непрерывную вентилируемую прослойку. Такое решение должно повышать надежность и энергоэффективность конструкции в целом за счет выведения в окружающую среду поступающей в конструкцию влаги [9].

Для подтверждения эффективности включения в теплоизоляционную систему вентилируемого зазора, обеспеченного фасадным матом, в 2009 году ОАО «СПбЗНИиПИ» совместно с НИИСФ РААСН была разработана методика инструментальной оценки влажностных показателей и проведены испытания двух конструкций (базовой и оцениваемой) при установившемся потоке диффузии водяного пара [10].

Базовая конструкция представляет собой фрагмент стены размерами 2,6х0,75 м, выполненный из блоков автоклавного газобетона плотностью 500 кг/м^3, толщиной 85 мм, со слоем минераловатного утеплителя плотностью 145 кг/м^3,толщиной 50 мм и клеевым слоем на минеральной основе толщиной 6 мм, армированным стеклосеткой.

Оцениваемая конструкция представляет собой фрагмент стены размерами 2,6х0,75 м, выполненный из блоков автоклавного газобетона плотностью 500 кг/м^3 и толщиной 85 мм, со слоем минераловатного утеплителя плотностью 145 кг/м^3 и толщиной 50 мм, фасадного мата толщиной 22 мм с клеевым слоем толщиной 6 мм.

Испытания проводились по программе и методике «Система навесного штукатурного фасада с вентилируемым зазором. Программа и методика для целей сравнительных испытаний», с применением измерительной аппаратуры, отвечающей требованиям ГОСТ 21718, ГОСТ 26254 и ГОСТ 23422.

На фрагменты стеновых конструкций, установленных на единой платформе параллельно друг другу, воздействовали одновременно следующие факторы, моделирующие с помощью климатической камеры TBV-1000 (рис. 1) и парогенератора внешнюю атмосферную среду и внутреннюю среду помещения с высокой влажностью (цехи текстильных фабрик, прачечные, бассейны и др.): $t_в$=(50±5)^{o}C, $\varphi_в$=70 %; $t_н$=(0±1) ^{o}C, $\varphi_н$=87%.

Рисунок 1. Климатическая камера TVB-1000

Рисунок 2. Измерение влажности штукатурного слоя прибором ИТП МГ4 «Поток»

Результатом испытаний явилась сравнительная оценка двух конструкций, базовой и оцениваемой (с фасадным матом), по распределению влаги на внешней поверхности штукатурного слоя (рис. 2).

Таблица 1. Сводная таблица результатов определения влажностных показателей для базовой и оцениваемой конструкций в процессе семисуточного воздействия температур и влажности

Воздействующие факторы (средние значения)		Измеренные значения температуры и влажности в конструкциях		
		Базовая конструкция	Оцениваемая конструкция	
со стороны газобетона (теплый отсек)	со стороны штукатурки (холодный отсек)	на поверхности штукатурки (датчик МГ4У)	на поверхности штукатурки (датчик DS1922)	на поверхности штукатурки (датчик МГ4У)
φ=49% (35%…70%)	φ=94% (50%…100%)	φ=3,1% *	φ=88,5% **	φ=1,2% *

* – среднее по поверхности штукатурки в 18 точках
** – в зоне вентилируемого зазора

По итогам испытаний были сделаны следующие выводы.

1. При повышенной относительной влажности внутреннего воздуха (до 70%) в теплом отсеке и высокой температуре (до 60°С) упругость водяного пара с внутренней стороны обоих фрагментов ограждения повышается вследствие диффузии пара, что приводит к увлажнению утеплителя и наружного слоя штукатурки. В оцениваемой конструкции среднее значение влажности штукатурного слоя, измеренной на поверхности, ниже (φ = 1,2 %) по сравнению с базовой (φ = 3,1 %).

2. Относительная влажность воздуха в зазоре, измеренная внутри фасадного мата, имеет высокое значение (φ = 88,5%) вследствие ожидаемой конденсации влаги в структуре мата.

Исходя из вышеизложенного, можно утверждать, что имел место значительный перенос влаги в оцениваемой и базовой конструкции вследствие отсутствия пароизоляционного слоя на внутренней поверхности штукатурного слоя. Кроме того, ввиду отсутствия в оцениваемой конструкции естественной вентиляции в слое мата, возникающей в реальных условиях вследствие разницы давлений, можно считать результаты проведенного эксперимента имеющими большой запас надежности.

Следует отметить, что даже при столь неблагоприятных условиях распределения температуры и упругости водяного пара в конструкциях, а также незначительном по продолжительности воздействии, предпочтение следует отдать конструкции с применением фасадного мата ввиду более низкого сорбционного увлажнения наружного штукатурного слоя в оцениваемой конструкции (рис. 3, 4). [11]

Рисунок 3. Оцениваемая конструкция после испытаний

Рисунок 4. Базовая конструкция после испытаний

Полученные в результате практических испытаний данные впоследствии показали хорошую сходимость с результатами теоретических исследований [9], что позволяет положительно оценивать возможность широкого применения предлагаемого решения, особенно в сложных климатических условиях нашей страны.

Литература:

1. Гагарин В. Г. Теплоизоляционные фасады с тонким штукатурным слоем // АВОК. 2007. № 6. С. 82–90.
2. Стандарт организации. СТО 58239148-001-2006 / ООО «Хенкель Баутехник». М., 2006. С. 9-14.
3. Мачинский В. Д. О конденсации паров воздуха в строительных ограждениях // Строительная промышленность. 1927. № 1. С. 60–62.
4. Фокин К. Ф. Расчет влажностного режима наружных ограждений / ОНТИ. М.-Л., 1935. 22 с.
5. Фокин К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. 4-е изд. М. : Стройиздат, 1973. 287 с.
6. Miller L. G. Calculating Vapor and Heat Transfer Through Walls // Heat. Ventil. 1938. Vol. 35. № 11. P. 56–58.
7. Straube J. F. Влага в зданиях // АВОК. 2010. №6. С. 4-6.
8. Woolley H. W. Moisture Condensation in Building Walls. // U. S. Department of Commerce. National bureau of standards. Report BMS 63. Washington, 1940. Pp. 36-40.
9. Гагарин В. Г., Козлов В. В. Расчет влияния фасадных матов «Стаккодрейн» на теплофизические характеристики стен с теплоизоляционной фасадной системой с тонким штукатурным слоем. Научно-технический отчет / НИИСФ РААСН. М., 2010.
10. Техническое заключение по результатам сравнительных испытаний систем навесного штукатурного фасада / ОАО «СПбЗНИиПИ». СПб., 2009.
11. Солощенко С. С. Влажностный режим конструкции вентилируемого штукатурного фасада // Инженерно-строительный журнал. 2010. №8. С. 10-15.

** Сергей Сергеевич Солощенко, Санкт-Петербург, Россия*

Тел. раб.: +7 (812) 334-79-43; эл. почта: sergey.soloschenko@stuccovent.ru

Вопросы качества и долговечности облицовки слоистых каменных стен

К.т.н., заместитель директора В.Н. Деркач*,
филиал РУП «Институт БелНИИС»;
Д.т.н., профессор Р.Б. Орлович**,
Западно-Померанский технологический университет

Ключевые слова: каркасные здания; стеновое ограждение; слоистая кладка; долговечность.

Наружное стеновое ограждение каркасных зданий обычно выполняется в виде слоистой кладки, с защитно-декоративной облицовкой из кирпича и внутренним слоем из газосиликатных или пенобетонных блоков, либо щелевых керамических камней, которыми заполняется пространство между монолитными плитами перекрытий и колоннами или поперечными железобетонными стенами. Лицевой слой наружных стен выполняется из высококачественного кирпича, а иногда из оштукатуренного минераловатного утеплителя (рис. 1).

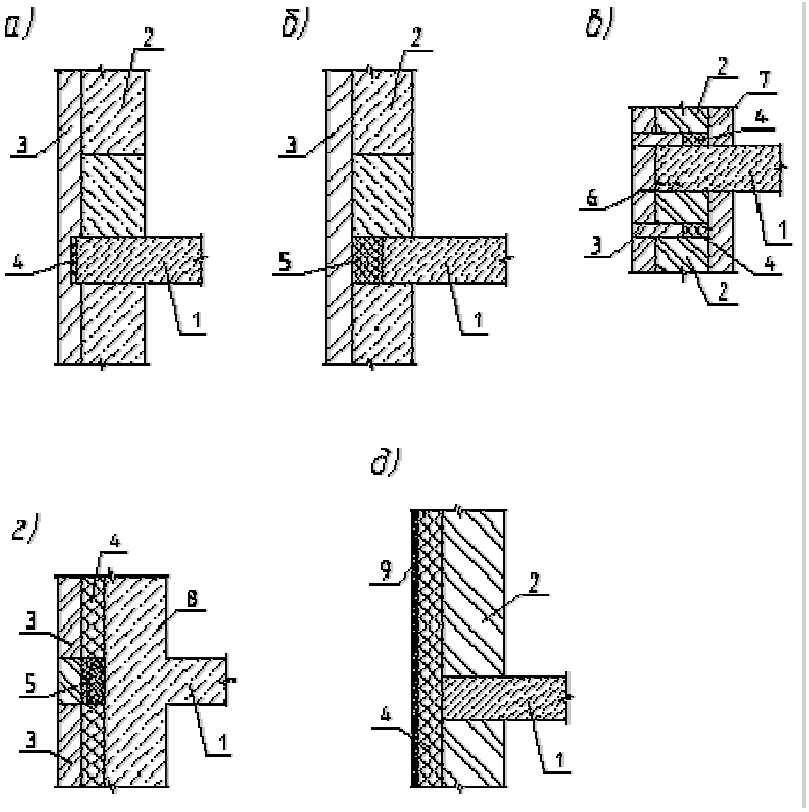


Рисунок 1. Вертикальные разрезы слоистых наружных стен, применяемых в кирпично-монолитном домостроении:
1 – железобетонная плита перекрытия, 2 – внутренний кирпичный слой, 3 – наружный кирпичный слой, 4 – утеплитель, 5 – вкладыши из пенополистерола в перфорации плит перекрытия, 6 – металлический уголок, 7 – внутренняя облицовка из кирпича, 8 – торцевая железобетонная стена, 9 – тонкая армированная штукатурка

Особенностью кирпичного облицовочного слоя является то, что он только частью сечения опирается на край плиты перекрытия и воспринимает опрокидывающий момент от собственного веса, отрицательного ветрового давления, а также температурных воздействий. В соответствии с [1, 2] его крепление к внутреннему слою должно осуществляться с помощью гибких анкеров из нержавеющей стали. Совершенно очевидно, что долговечность таких стен должна быть не менее долговечности несущих конструкций каркаса здания.

Широкое применение слоистые стены с лицевым кирпичным слоем в странах СНГ получили начиная с середины 90-х годов прошлого столетия в связи с ужесточением нормативных требований к сопротивлению теплопередаче. При этом, не обладая соответствующей нормативной базой и опытом строительства, многие решения были заимствованы за рубежом, и в первую очередь из европейских стран, где слоистые стены начали широко внедряться на 20-30 лет ранее. Эксплуатация слоистых стен, особенно в многоэтажном

каркасно-монолитном домостроении, уже в первые 3-5 лет выявила ряд серьезных недостатков, которые во многих случаях приводили к аварийному состоянию стенового ограждения (рис. 2) [3].

Рисунок 2. Характерные повреждения слоистых стен: а – трещины в облицовочном слое, б – обрушение облицовочного слоя, в, г – трещины в штукатурном слое

Основные причины, способствующие возникновению данных аварийных ситуаций, заключаются в следующем [3, 4]:

- применение в качестве анкеров сеток из проволоки Вр-I с перегибами между несовпадающими растворными швами внутреннего и облицовочного слоев кладки;
- отсутствие горизонтальных и вертикальных температурных деформационных швов в лицевом слое;
- опирание лицевого слоя на консоли перекрытий, а не на специальные кронштейны;
- опирание лицевого слоя на закрепленные к торцам плит металлические уголки (рис. 1в).

К недостаткам следует также отнести наличие мостиков холода со стороны слабо термозащищенных торцов плит перекрытий. Устройство перфорации на их консольных участках с вкладышами из пенополистирола, как это делается в балконах, не решает полностью данной проблемы. Термовкладыши из пенополистирола в действительности оказываются неэффективными, а при их неправильной установке создают предпосылки для ускоренной коррозии рабочей арматуры и снижения несущей способности железобетонного сечения консольных плит [5]. Полное исключение мостиков холода возможно путем выполнения лицевого слоя из непрерывной оштукатуренной теплоизоляции (рис. 1д) [6, 7, 8]. Такое решение, однако, в зарубежной практике встречается крайне редко, поскольку долговечность рассматриваемого слоя ограничивается 15-20 годами, а это влечет за собой значительные затраты на ремонт стенового ограждения [8]. Опыт эксплуатации большинства зданий со скрепленной системой теплоизоляции, возведенных в России с 1997 г., показал, что они через 2-4 года требуют проведения ремонтно-восстановительных работ.

Одним из наиболее существенных недостатков отечественных решений слоистых стен является отсутствие вентилируемого воздушного зазора между лицевым и внутренним слоями кладки. Устройство такого зазора в зарубежном строительстве, даже в случае отсутствия промежуточного теплоизоляционного слоя, является обязательным (рис. 3).

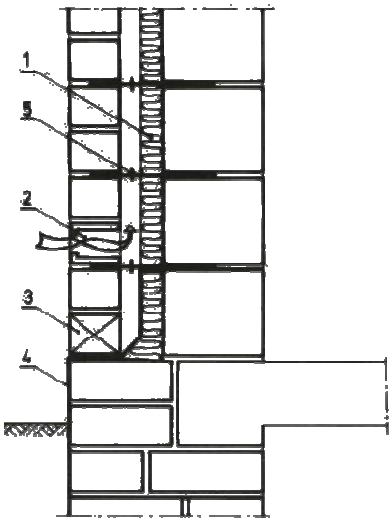


Рисунок 3. Вертикальный разрез трехслойной стены каркасного здания:
1 – утеплитель, 2 – вентиляционное отверстие, 3 – отверстие для удаления конденсационной влаги, 4 – цоколь здания, 5 – анкера между лицевым и внутренним слоями

Особенно важным это является для регионов с повышенной атмосферной влажностью и низкими отрицательными температурами. Скапливающийся внутри конденсат увлажняет утеплитель и внутренний слой из газосиликатных блоков, что резко снижает термоизоляционные свойства наружных стен. Известно, что увеличение влажности конструкционного материала всего на 10-15% приводит к потере до 50% его теплоизоляционной способности.

На рис. 4 представлены некоторые результаты численных исследований напряженно-деформированного состояния лицевого слоя под влиянием температурных воздействий, вызванных солнечной радиацией, которые были выполнены авторами настоящей статьи.

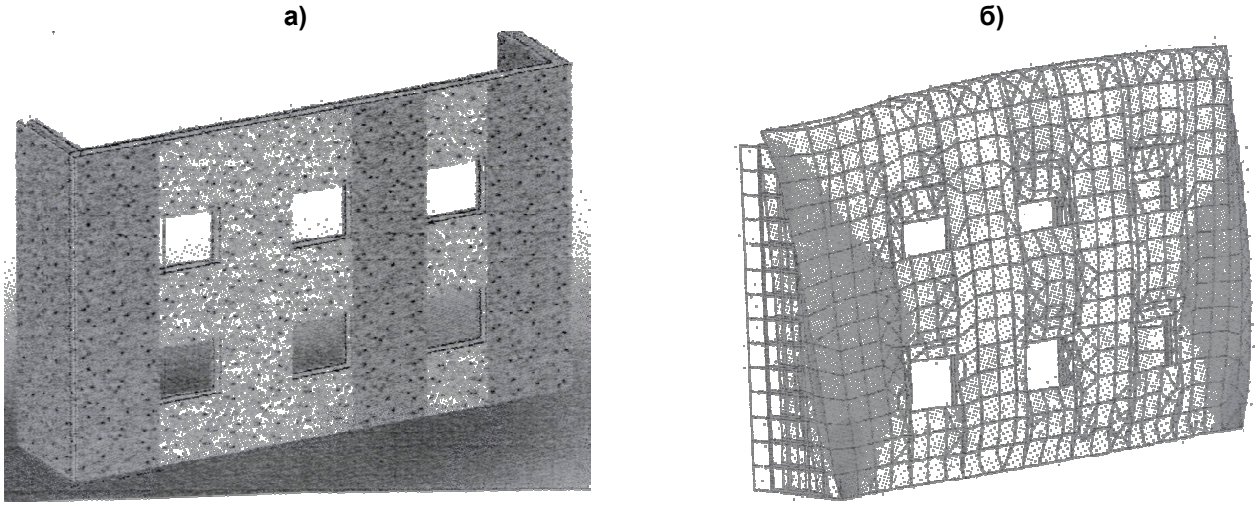


Рисунок 4. Расчетная модель (а) и температурные деформации (б) кирпичного облицовочного слоя в двухэтажном здании

Из-за отсутствия вентилируемого воздушного зазора на внутренней и наружной поверхности лицевого слоя возникает разность температур. В этом случае происходит коробление лицевого слоя с выпучиванием наружу, чему препятствуют анкерные связи. В последних возникают значительные растягивающие усилия, а в лицевом слое – изгибные напряжения из вертикальной плоскости.

При отрицательных температурах ситуация меняется: лицевой слой коробится внутрь, чему препятствует внутренний слой каменной кладки, являющийся заполнением каркаса. В результате в лицевом слое в горизонтальных швах появляются значительные сдвигающие напряжения, перпендикулярные плоскости стены, которые совместно с нормальными напряжениями от изгибающих моментов приводят к раскрытию горизонтальных растворных швов. При выполнении лицевого слоя из пустотелых керамических

материалов через образованные горизонтальные трещины в пустоты кирпичей попадает дождевая вода, что при отрицательных температурах приводит к их разрушению.

Отмеченные особенности и требования, предъявляемые к лицевому слою, достаточно широко освещены в технической литературе [9, 10, 11]. Тем не менее, в практике по-прежнему наблюдается некачественное проектирование и возведение зданий со слоистыми наружными кирпичными стенами.

На рис. 5 показаны дефекты, выявленные авторами при обследовании каркасно-монолитных зданий, стеновое ограждение которых выполняется с защитно-декоративной облицовкой из пустотелого керамического кирпича.

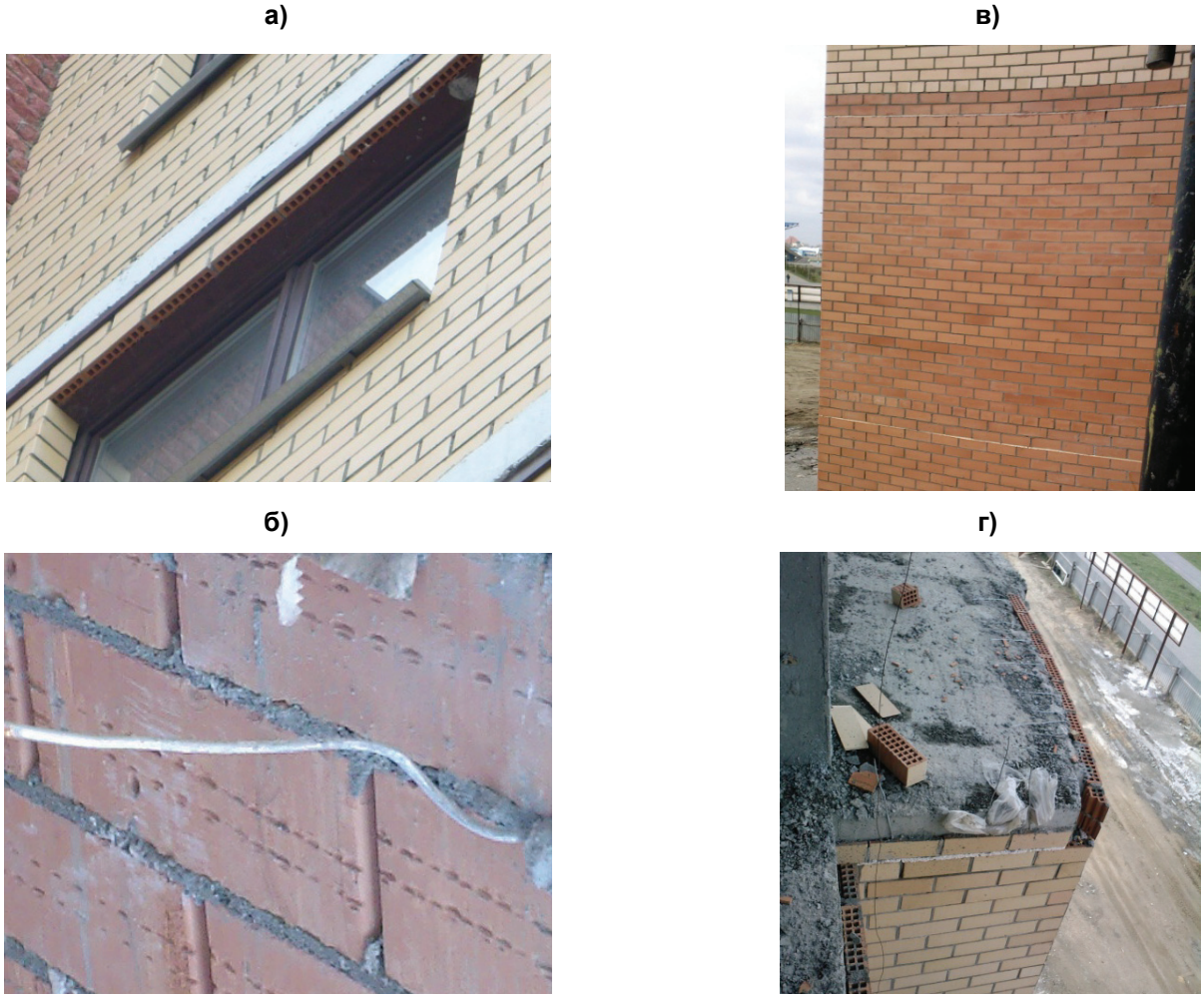


Рисунок 5. Дефекты лицевого слоя:
а – свес пустотелого лицевого кирпича в оконных проемах; б – коррозия и излишняя податливость анкеров; в – опирание лицевого слоя на тычковый ряд кирпича, недостаточная ширина горизонтальных деформационных швов; г – отсутствие утепления плит перекрытия

Применение пустотелого кирпича (по сравнению с полнотелым) практически не оказывает влияния на повышение теплозащитных свойств стенового ограждения. Более того, нерациональное расположение пустот создает в облицовочном слое стены участки с пониженными теплозащитными свойствами и повышенной паропроницаемостью. Это способствует концентрации влаги на внутренней поверхности лицевого слоя, что приводит к его переувлажнению и преждевременному разрушению [3, 5]. Анкерные связи, выполненные из оцинкованной проволоки, установлены некачественно, и уже в процессе монтажа наблюдаются очаги коррозии (рис. 5б). Впоследствии это приведет к аварийному состоянию лицевого слоя. Существенным недостатком в рассматриваемом примере является отсутствие вертикальных деформационных швов в лицевом слое и низкое качество междуэтажных горизонтальных деформационных швов. Толщина последних принята равной толщине горизонтальных растворных швов, в то время как с учетом прогибов железобетонных конструкций она должна быть в 3-4 раза большей.

Кроме того, горизонтальные деформационные швы не совпадают со стыком кирпичей с различной цветовой гаммой (рис. 5в). Более темные участки из-за их большего нагревания солнцем будут испытывать большие температурные деформации в горизонтальном направлении по сравнению со светлыми участками лицевого слоя. В результате на их контакте возникают дополнительные сдвиговые напряжения. Таким образом, перечисленные недостатки являются «миной замедленного действия», которая через определенное время может привести к аварийному состоянию лицевого слоя и необходимости проведения дорогостоящих ремонтно-восстановительных работ.

Особое внимание следует обращать на правильность устройства вертикальных деформационных швов, значение которых в практике строительства повсеместно недооценивается. Их роль заключается в уменьшении напряжений в лицевом слое, вызванных его горизонтальными температурными деформациями. Особенно опасны эти напряжения в угловых зонах зданий и на границах простенков с большими оконными и дверными проемами. Размещение вертикальных деформационных швов должно быть согласовано с ориентацией зданий относительно сторон света (рис. 6а).

а) б)

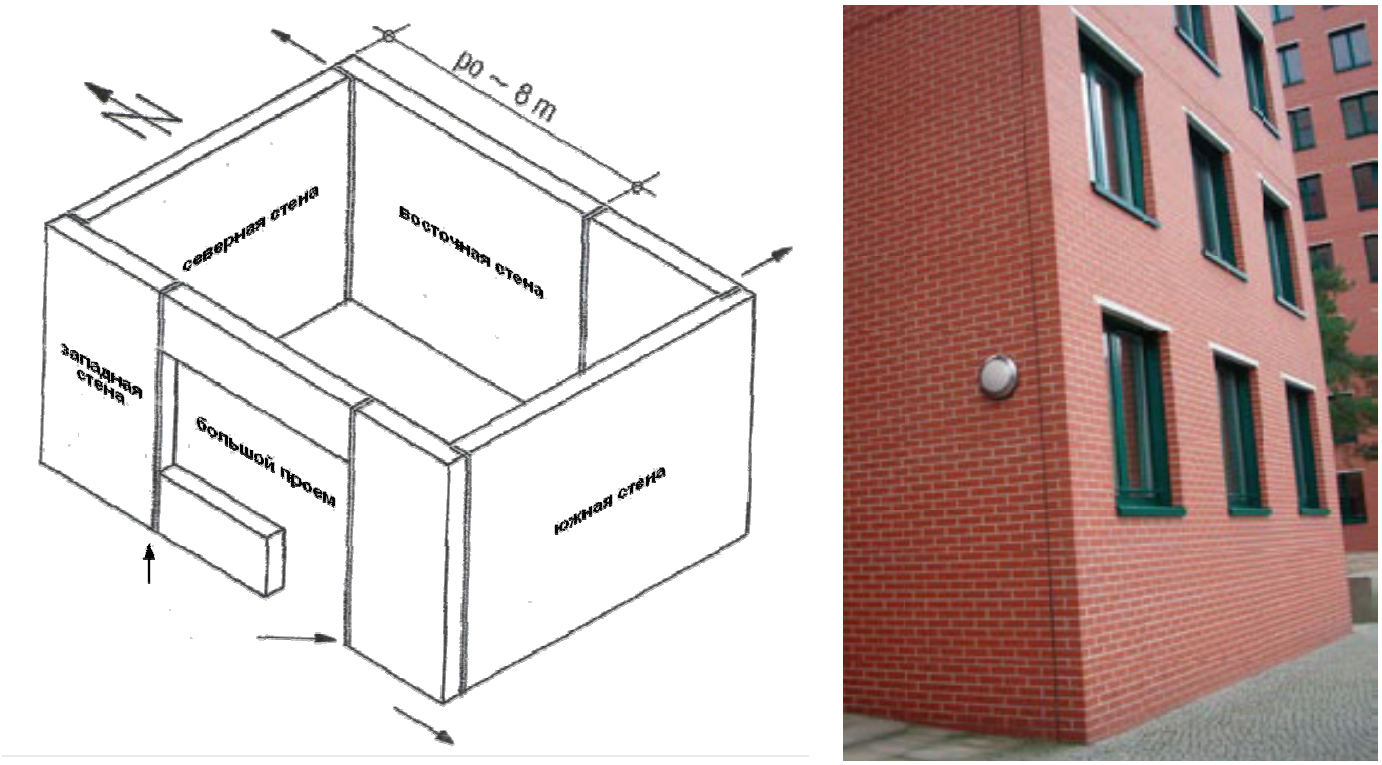


Рисунок 6. Примеры правильного расположения вертикальных деформационных швов в лицевом слое

Во время восхода солнца восточная стена здания, нагреваясь, должна иметь свободу горизонтальных перемещений относительно северной стены. Этому способствует устройство вертикального деформационного шва на их пересечении. Южная стена при высоком стоянии солнца и высокой температуре воздуха должна иметь свободу горизонтальных перемещений относительно восточной стены. И, наконец, западная стена, испытывающая как сильное нагревание солнцем, так и быстрое охлаждение, должна иметь свободу горизонтальных перемещений относительно южной и северной стен. При несоблюдении этих закономерностей в угловых зонах здания в лицевом слое образуются вертикальные либо косые трещины.

Долговечность лицевого слоя в большой степени зависит также от качества расшивки растворных швов. При неправильной расшивке атмосферная вода, особенно в период косых дождей, стекая по фасаду здания, проникает в растворные швы, вызывая не только их деструкцию, но и коррозию металлических анкеров. На основе многолетнего опыта эксплуатации кирпичных фасадов зданий [12] выявлено, что наиболее надежным является менисковый тип расшивки (рис. 7). Его долговечность может быть увеличена за счет выполнения фуги специальным водостойким раствором с модифицирующими добавками.

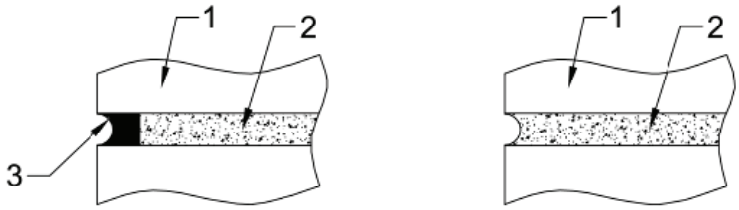


Рисунок 7. Рекомендуемый способ расшивки швов лицевого слоя каменной кладки: 1 – лицевой кирпич, 2 – горизонтальный растворный шов, 3 – фуга

В заключение необходимо отметить, что только правильное выполнение облицовочного слоя в слоистых каменных стенах позволит обеспечить их безаварийную эксплуатацию. Апробированные в странах Европы технические решения слоистых стен следует осторожно внедрять в практику строительства каркасных зданий, адаптируя их к местным климатическим условиям, качеству применяемых кладочных материалов и существующей технологии строительного производства.

Литература:

1. EN 1996-2:2006 Eurocode 6: Design of masonry structures – Part 2: Design considerations, selection of materials and execution of masonry. 25 p.
2. EN 845-1:2008 «Festlegungen für Ergän-zungsbauteile für Mauerwerk – Teil 1: Maueranker, Zugbänder, Auflager und Konsolen Stürze». 47 p.
3. Ищук М. К. Отечественный опыт возведения зданий с наружными стенами из облегченной кладки. М. : РИФ «Стройматериалы», 2009. 360 с.
4. Орлович Р. Б., Найчук А. Я., Деркач В. Н. Отечественные и зарубежные технические решения по наружному стеновому ограждению высотных зданий // Архитектура, дизайн и строительство. 2009. №3-4[43]. С. 56-57.
5. Лобов О. И., Ананьев А. И. Долговечность наружных стен современных многоэтажных зданий // Жилищное строительство. 2008. №8. С. 48-52.
6. Боград А. Я. Рациональные технические решения теплоэффективных наружных стен жилых домов различных конструктивных систем // Строительные материалы. 1999. №2. С. 2-3.
7. Гагарин В. Г. Теплофизические свойства современных стеновых ограждающих конструкций многоэтажных зданий // Сборник трудов II Всероссийской конференции «Строительная теплофизика и энергоэффективное проектирование ограждающих конструкций». СПб. : Изд-во СПбГПУ, 2009. С. 33-44.
8. Гагарин В. Г. Теплоизоляционные фасады с тонким штукатурным слоем. Температурно-влажностные воздействия и долговечность систем теплоизоляционных фасадов с тонким штукатурным слоем // АВОК. №6. 2007. С. 12-23.
9. Гроздов В. Т. О недостатках существующих проектных решений наружных навесных стен в многоэтажных монолитных железобетонных зданиях // Сборник трудов конференции «Дефекты зданий и сооружений» / ВИТУ. СПб. , 2006. С. 15-21.
10. Орлович Р. Б., Деркач В. Н., Найчук А. Я. Об облицовочном слое слоистых каменных стен // Архитектура и строительство. 2010. №5. С. 78-85.
11. Огородник В. М., Огородник Ю. В. Некоторые проблемы обследования зданий с отделкой лицевым кирпичом в Санкт-Петербурге // Инженерно-строительный журнал. 2010. №7. С. 10-13.
12. Drobiec L. Przyczyny uszkodzen murow // XXII Ogolnopolska konferencja warsztat pracy projektanta konstrukcji. Szczyrk. 2007. S. 105-146.

** Валерий Николаевич Деркач, Минск, Республика Беларусь*
Тел. раб.: +3(75-296)41-19-61, эл. почта: v-derkatch@yandex.ru

*** Роман Болеславович Орлович, г. Щецин, Республика Польша*
Тел. раб.: +4(86-618)68-85-00, эл. почта: orlowicz@mail.ru

Оценка рисков при реализации инвестиционно-строительного проекта на примере бизнес-центра

Магистрант Н.А. Лаптева*;
к.т.н., доцент Т.Ф. Морозова,
ГОУ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Ключевые слова: саморегулируемая организация; инвестиционно-строительный проект; риск; экспертная оценка; индекс риска; компетентность эксперта; коэффициент вариации.

Внедрение новой организационной формы строительного комплекса – саморегулирования – направлено на повышение ответственности строительных организаций за сроки и качество выполнения инвестиционно-строительных проектов (ИСП) (см. ФЗ «Об инвестиционной деятельности в РФ, осуществляемой в форме капитальных вложений», 1999). Существенное влияние на сроки и качество выполнения ИСП оказывают неблагоприятные ситуации и их последствия, которые интерпретируются как риски. На современном этапе управления строительными инвестиционными проектами сложилась концепция последовательности действий в процессе управления рисками. Это отмечено в государственных методических рекомендациях (см.: Методические материалы по страхованию строительных рисков / Минстрой России, 1996; Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов / Мин. Экономики РФ, Мин. фин РФ, Гос. ком. РФ по строит., арх-ной и жилищной политике, 1999; Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования / Госстрой России, Мин. экономики РФ, Мин. фин РФ, Госкомпром. России, 1994).

Основными этапами управления являются определение рисков, оценка рисков, контроль рисков и финансирование рисков. Для определения рисков и их оценки в большинстве работ используются экспертные методы и метод статистического моделирования. Однако, как отмечено в [1], уникальность объектов и условий их строительства при использовании классических методов статистического моделирования не дают возможности получения репрезентативных экспериментальных данных, и довольно часто статистические выводы делаются на основе малых выборок, что влияет на достоверность результатов. Для практических целей широко используются экспертные методы.

Суть метода экспертных оценок состоит в анкетировании специалистов, имеющих опыт работы на объектах жилищно-гражданского строительства Санкт-Петербурга. При применении этого метода возникает возможность использования интуиции, жизненного и профессионального опыта участников опроса. Метод используется тогда, когда недостаток или полное отсутствие информации не позволяет использовать другие возможности. Основным ограничением в его использовании является сложность в подборе необходимой группы экспертов.

Проблема подбора экспертов является одной из важнейших в процессе принятия решений. Под компетентностью понимается степень квалификации экспертов в определенной области знаний. Компетентность может быть определена на основе анализа деятельности специалиста, уровня и широты знакомства с достижениями науки и техники, понимания исследуемых проблем, а также возможных путей их решения.

Часто предлагают использовать методы самооценки, взаимооценки компетентности экспертов или проведения тестов на профессиональную пригодность. При нахождении экспертных оценок, по существу, производят субъективные измерения объектов, не поддающихся непосредственному измерению. Наиболее часто используют ранжирование, парное сравнение, непосредственную оценку, последовательное сравнение.

Рассмотрим пример экспертной оценки рисков.

Авторами была проведена экспертная оценка технических рисков реализации строительства бизнес-центра. В экспертизе приняли участие 11 специалистов, работающих на объектах жилищно-гражданского строительства Санкт-Петербурга, не являющиеся участниками реализации оцениваемого ИСП, личное общение друг с другом отсутствовало, эксперт проходил анкетирование в индивидуальном порядке.

На первом этапе был определен вес значимости каждого качества, которым должен обладать эксперт.

Реестр качеств, которыми должен обладать эксперт, с которым предпочтительно работать:

- стаж – суммарная продолжительность трудовой деятельности в строительстве;
- креативность – способность творчески решать задачи, метод решения которых полностью или частично не известен;
- эвристичность – способность видеть или создавать неочевидные проблемы;

- интуиция – способность делать заключения об исследуемом объекте без осознания пути движения мысли к этому заключению;
- предикаторность – способность предсказывать, предчувствовать будущее состояние исследуемого объекта;
- независимость – способность противопоставлять предубеждениям и массовому мнению свою точку зрения;
- всесторонность – способность видеть проблему с различных точек зрения.

На основе метода парных сравнений качеств составилась матрица предпочтений. Парное сравнение представляет собой процедуру установления предпочтительности объектов при сравнении всех возможных пар. При сравнении любой пары объектов возможно либо отношение строгого порядка, либо отношение эквивалентности. Результаты сравнения всех пар сведены в таблицу 1, в строках и столбцах которой представлены качества, а в клетках таблицы – числовые значения предпочтений. В заполнении таблицы использовалось следующее числовое представление: если i-е качество важнее (i+1)-го качества, то в (i,i+1) – клетке ставилось 2, в противном случае – 0, если качества одинаково важны – 1.

После заполнения матрицы предпочтений определились оценка каждого качества и его ранг R_{1j}. Оценка i-го качества, данная j-м экспертом, определялась путем суммирования всех баллов в соответствующей строке матрицы предпочтений эксперта. Общая сумма оценок равна n^2, где n – число рассматриваемых качеств [2].

Процедура ранжирования предусматривает установление относительной предпочтительности качеств на основе их упорядочения, в результате каждому из них приписываются числа натурального ряда – ранги (1, 2 ,3, …, n). Наиболее предпочтительному качеству, имеющему наивысшую оценку, присваивается ранг, равный единице, второму – ранг, равный двум и т.д. Эквивалентным качествам присваивается одинаковый ранг.

Коэффициент значимости, или вес j-го качества, определяется по формуле:

$$V_i = \frac{x_{ci}}{n^2} \qquad (1)$$

Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1. Матрица предпочтений

Качество	Стаж	Креативность	Эвристичность	Интуиция	Предикаторность	Независимость	Всесторонность	Оценка качества	Ранг качества	Вес значимости
Стаж	1	2	1	2	1	1	2	10	1	0,2041
Креативность	0	1	0	1	0	1	0	3	5	0,0612
Эвристичность	1	2	1	2	1	1	0	8	3	0,1633
Интуиция	0	1	0	1	1	0	0	3	5	0,0612
Предикаторность	1	2	1	1	1	2	1	9	2	0,1837
Независимость	1	1	1	2	0	1	0	6	4	0,1224
Всесторонность	0	2	2	2	1	2	1	10	1	0,2041

На втором этапе определялся уровень компетентности эксперта. В опросе участвовали 11 экспертов, каждый из них обладает определенным набором качеств. В оценке качеств экспертов, оценивающих риски, принимали участие 3 эксперта. Каждое качество детализируется, выделяется 3 уровня: высокий (оценивается в 40 баллов), средний (30 баллов) и низкий (10 баллов). Общая оценка, полученная каждым экспертом, определяется по формуле:

$$A_l = \sum_{j=1}^{m} V_i \cdot a_{ijl}\,, \qquad (2)$$

где a_{ijl} – оценка i-го качества l-го эксперта, оценивающего риски, данная j-м экспертом.

Далее определили уровень компетентности эксперта из условий:

- если $A_l \leq 25$, то уровень компетентности равен 1;
- если $25 < A_l \leq 30$, то уровень компетентности равен 2;
- если $A_l > 30$, то уровень компетентности равен 3.

Результаты сведены в диаграмму на рис. 1.

Рисунок 1. Уровень компетентности экспертов

Для выявления наиболее опасных рисков в зависимости от индекса риска было проведено анкетирование специалистов, выступающих в качестве экспертов.

Каждый из 11 экспертов проставил вероятность возникновения P_q и величину потерь I_q для технических рисков, которые имеют место при реализации ИСП.

Индекс риска (баллы) определяется по формуле [3,4]:

$$A_l = \sum_{j=1}^{m} V_i \cdot a_{ijl} . \qquad (3)$$

При определении итогового индекса риска необходимо учитывать уровень компетентности эксперта. Для этого необходимо перемножить индекс риска, проставленный конкретным экспертом, и уровень компетентности этого эксперта.

Среднее статистическое значение оценки i-го риска (баллы) определяется по формуле 4:

$$x_{ci} = \frac{\sum_{j=1}^{m} x_{ij}}{m}, \qquad (4)$$

где m – число экспертов, участвующих в опросе.

Степень согласованности оценок экспертов по i-му риску определяется коэффициентом вариации [5]:

$$W_l = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{m} \left(x_{ij} - x_{ci}\right)^2}{m}}}{x_{ci}} . \qquad (5)$$

При $W_i \leq 0,1$ согласованность оценок экспертов по i-му риску считается высокой, при $0,1 < W_i \leq 0,15$ – выше средней, при $0,15 < W_i \leq 0,25$ – средней, при $0,25 < W_i \leq 0,35$ – ниже средней, при $W_i > 0,35$ – низкой.

В процессе опроса экспертам было предложено оценить следующие риски:

1) некачественные материалы и оборудование;
2) несоблюдение технологических режимов и правил техники безопасности;
3) недостаток рабочей силы и машин;
4) аварии инженерных сетей;
5) прерывание работы (несвоевременная поставка материалов на строительную площадку, отключение электроэнергии, нехватка рабочей силы и машин);

6) плохие условия на строительной площадке (плохие условия подъезда, разгрузки, ненадлежащее обустройство рабочего места, стесненность условий строительства);
7) перерасход средств (переплата за услуги, за материал);
8) нехватка мощностей на близлежащих инженерных сооружениях.

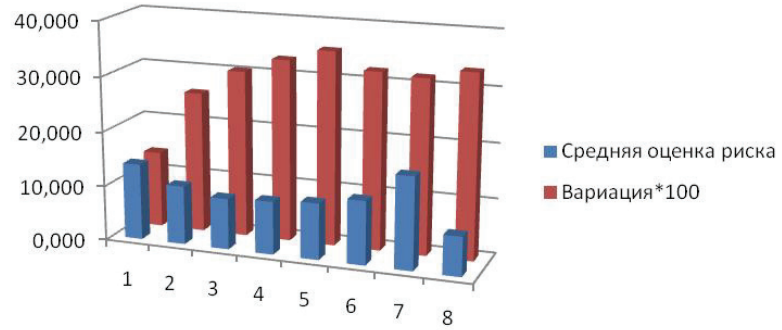


Рисунок 2. Результаты экспертизы

Как следует из результатов экспертизы (рис. 2), наибольший индекс имеют такие риски как поставка некачественных материалов и перерасход средств.

Необходимо отметить, что для повышения качества оценки рисков результаты экспертизы следует дополнительно согласовывать с руководством строительной организации [6].

После идентификации и оценки рисков формируются подходы к выбору методов борьбы с ними. При саморегулируемых формах организации строительного комплекса, на наш взгляд, целесообразно использовать подход к управлению рисками, предложенный в [7]. В данном подходе методы борьбы с рисками делятся на четыре класса (табл. 2).

Таблица 2. Классы рисков

	Высокая частота	Низкая частота
Высокая опасность	Исключение и уменьшение	страхование
Низкая опасность	Сообщество и уменьшение	сообщество

Если уровень потерь высокий, то вступление в сообщество не реалистично и необходима другая техника борьбы с риском. Когда вероятность потери высокая, страхование становится слишком дорогим. В этом случае наиболее подходящим средством минимизации рисков, обладающих высокой степенью опасности и высокой частотой проявления, являются методы исключения и уменьшения. В соответствии с данным подходом к борьбе с рисками, по законодательству о саморегулировании члены саморегулируемых организаций (СРО) должны внести средства в компенсационный фонд и застраховать свою ответственность. Для повышения качества управления рисками в СРО необходимо внедрять службы риск-менеджмента, которые будут отвечать за безопасность строительного производства, вести статистический учет и анализ рисков и разрабатывать мероприятия по борьбе со всеми встречающимися рисками.

Литература:

1. Управление рисками (risk management) инвестиционных проектов [Электронный ресурс] / Мин. по зем. политике, строительству и жилищно-коммунальн. хоз-ву РФ; Координац. Центр по страхованию. Северо-западное пред-во. СПб, 1998. URL: http://urban.internord.ru (дата обращения: 23.03.2011).
2. Кукушкин В. А., Морозова Т. Ф. Календарное планирование в строительстве. Учебно-методическое пособие и деловая игра. СПб. : ПЭИПК, 2007. 72 с.
3. Артамонов А. А. Функции управления рисками в процессе реализации инвестиционных проектов : дис. на соиск. учен. степ. к.э.н.: Спец. 08.00.05.; СПбГАСУ. СПб., 2003. 124 с.
4. Воронова С. П. Совершенствование методов оценки инвестиционно-строительных рисков на этапах жизненного цикла объекта недвижимости : Автореф. дис. на соиск. учен. степ. к.э.н.: Спец. 08.00.05.; СПбГАСУ. Спб., 2003. 17 с.
5. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М. : Высш.шк., 1999. 307 с.
6. Болотин С. А., Климов С. Э. Обоснование экспоненциального распределения при моделировании несвоевременного выполнения работ // Изв. высш. учеб. заведений. Стр-во. 2004. №10. С. 47-51.
7. Миллерман А. С. Теория и практика страхования в строительстве. М. : Финансы, 2005. 258 с.

** Наталья Александровна Лаптева, Санкт-Петербург, Россия*

Тел. моб.: +7(952)383-15-32; эл. почта: tatasha88@mail.ru

Влияние организационно-технологических факторов на эффективность управления строительством сооружений

К.т.н., докторант Г.И. Абдуллаев*,
ГОУ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Ключевые слова: организационно-технологический фактор; управляющие решения; эффективность управления; экономический эффект.

Воздействие организационных и технологических факторов на эффективность управления можно рассматривать по элементам системы организации и технологии строительства. Организационные и технологические факторы в значительной степени обуславливают уровень организационно-технологической надежности [1, 2, 3] строительного производства, а их уровень, в свою очередь, зависит от качества работы системы управления.

В течение подготовительного периода при разработке календарного плана строительства назначаются конкретные значения организационных и технологических параметров всего производственного процесса. К устанавливаемым параметрам можно отнести продолжительность строительства ряда линейно протяженных сооружений – $T \le Тдир$, надежность реализации всего плана строительства – $Рзад$, сроки окончания строительства отдельных сооружений – $ток_i$, объемы осваиваемых инвестиций по кварталам строительства – C_μ, объемы необходимой производственно-технологической мощности по кварталам строительства – M_μ, технологическую очередность возведения сооружений в соответствии с установленными приоритетами – $П_i$ и др. Принятые организационно-технологические параметры определяют размеры финансовых затрат, которые должны быть минимизированы в процессе выработки управляющего решения.

Регулирование и управление строительством на основе организационно-технологических решений включает в себя изменение технологических схем выполнения работ и возведения сооружений, перераспределение трудовых и технических ресурсов, изменение очередности освоения частных фронтов работ, изменение методов организации работ. Это приводит к изменениям значений организационно-технологических параметров и, следовательно, изменению размеров финансовых затрат [4,5,6]. Выработка управляющего решения должна обеспечить минимизацию отклонения от размера плановых финансовых затрат и этим обеспечить эффективность управляющей системы. Основной задачей управляющего решения является сохранение основных плановых показателей при минимальном увеличении финансовых затрат.

Сохранение основных плановых показателей при выработке управляющего решения целесообразно осуществлять на основе устанавливаемых ограничений. В качестве ограничений можно принять:

- продолжительность строительства $Тпл \le T \le Тдир$;
- надежность реализации плана $Рпл \le P \le Рзад$;
- сроки окончания строительства отдельных сооружений $ток\ пл_i \le ток_i \le ток\ зад_i$;
- объемы осваиваемых инвестиций по кварталам строительства $Спл_\mu \le C_\mu \le Сзад_\mu$;
- объемы производственно-технологических мощностей по кварталам строительства $Мпл_\mu \le M_\mu \le Мзад_\mu$;
- технологическую очередность возведения сооружений в соответствии с установленными приоритетами $Ппл_i \le П_i \le Пзад_i$.

Организационные и технологические возможности конкретного производственного процесса для решения управленческих задач можно отобразить с помощью альтернативной модели. Альтернативная модель в виде топологической сети может отражать практически все организационные и технологические варианты выполнения строительных и монтажных работ на одном или нескольких сооружениях. В результате выбора конкретных способов организации и технологии выполнения каждой работы образуется определенная схема возведения сооружения. Тогда на каждом этапе ликвидации отставаний или отклонений от ранее принятого плана необходимо выбирать такую схему продолжения работ, которая минимизирует общий размер отклонений или размер увеличения дополнительных затрат. [5,6,7]

Альтернативная сетевая модель на любом этапе выработки управляющего решения может быть перестроена и содержать варианты на окончание строительства сооружения. Применение альтернативных моделей в полном объеме обеспечивает достаточно высокую эффективность работы системы управления на основе организационно-технологических факторов. Однако большой объем первоначальной и текущей информации требует хорошей организации структуры банка данных и плотного применения компьютеров. Компьютеризация процесса управления как на базе организационно-технологических факторов, так и на основе процессов проектирования, снабжения, финансирования и др. требует четкой формализации и построения информационной технологии. Одним из возможных направлений формализации управляющих технологий является построение экономико-математических моделей и на их основе формирование управляющей системы.

Эффективность функционирования системы управления на фоне улучшения организационно-технологических параметров строительства (уровня организационной структуры, уровня организационно-технологической надежности, продолжительности цикла управления и др.) можно оценить как сумму ряда экономических эффектов:

$$Э^{фу} = Э^{мк} + Э^{смм} + Э^{уто} + Э^{усс}, \quad (1)$$

где $Э^{мк}$ – годовой экономический эффект, возникающий при закупке требуемых экономически эффективных строительных материалов и конструкций, имеющих скидки и низкие цены при полной досрочной поставке и поставке в срок в результате качественного управления строительством сооружений;

$Э^{смм}$ – годовой экономический эффект от применения наиболее целесообразных и эффективных строительных машин и механизмов, приобретенных или арендованных в результате полного и качественного управления строительством сооружений;

$Э^{уто}$ – годовой экономический эффект от применения современной организации и технологии выполнения работ, определяющей уровень организационно-технологической надежности, на основе соответствующего оснащения в результате полного и качественного управления строительством сооружений;

$Э^{усс}$ – годовой экономический эффект, возникающий при сокращении сроков строительства объекта в результате полного и качественного управления строительством сооружений.

Годовой экономический эффект $Э^{мк}$ можно определить из выражения:

$$Э^{мк} = \sum_{i=1}^{m} \left(Vмк_i^{н} \cdot C_i^{н} - Vмк_i^{д} \cdot C_i^{д} \right), \quad (2)$$

где $Vмк_i^{н}$ и $Vмк_i^{д}$ – объем материалов или конструкций по i-му виду работ, необходимых для его осуществления с номенклатурой и качеством, запланированных до начала строительства и приобретенных досрочно в результате качественного управления;

$C^{н}$ и $C^{д}$ – стоимость материалов и конструкций, запланированных к приобретению до начала строительства и приобретенных досрочно в результате качественного управления со скидками и по низким ценам;
m – количество учитываемых видов работ.

Годовой экономический эффект $Э^{смм}$ можно определить из выражения:

$$Э^{смм} = \sum_{i=1}^{пн} З_i^{н} \cdot B_i^{н} - \sum_{i=1}^{пд} З_i^{д} \cdot B_i^{д}, \quad (3)$$

где $З_i^{н}$ и $З_i^{д}$ – приведенные годовые затраты по i-му виду строительных машин, предусмотренных проектом и приобретенных или арендованных в результате полного и качественного управления строительством сооружений;

$B_i^{н}$ и $B_i^{д}$ – количество i-го вида строительных машин и механизмов, предусмотренных проектом и приобретенных или арендованных в результате полного и качественного управления строительством ЛПС;
пн и пд – количество видов строительных машин и механизмов, предусмотренных проектом и принятых как наиболее эффективные при полном и качественном управления.

Годовой экономический эффект $Э^{уто}$ можно определить по формуле:

$$Э^{уто} = \sum_{i=1}^{\mu} \left\{ З_i^{н} \cdot \left(B_i^{д} / B_i^{н} \right) \cdot \left(P_i^{н} + Eн \right) / \left(P_i^{д} + Eн \right) + \left[\left(И_i^{н} - И_i^{д} \right) - Eн \left(K_i^{д} - K_i^{н} \right) \right] / \left(P_i^{д} + Eн \right) - З_i^{д} \right\} \cdot A_i^{д}, \quad (4)$$

где $З_i^н$ и $З_i^д$ – приведенные затраты соответственно по предусмотренному проектом и принятому при качественном управлении строительством по i-му виду работ на единицу продукции;

$B_i^д$ и $B_i^н$ – годовые объемы работ по i-му виду соответственно по предусмотренному проектом и принятому при качественном управлении строительством ЛПС;

$P_i^н$ и $P_i^д$ – доли отчислений от стоимости комплекта оборудования, материалов и конструкций по i-му виду работ;

$И_i^н$ и $И_i^д$ – годовые эксплуатационные издержки при использовании комплекта оборудования, приспособлений и инвентаря по организации и технологии по i-му виду работ по предусмотренному проектом и принятому при качественном управлении строительством сооружений;

$K_i^д$ и $K_i^н$ – сопутствующие вложения капитальных средств при использовании комплекта оборудования, приспособлений и инвентаря по организации и технологии по i-му виду работ по предусмотренному проектом и принятому при качественном управлении строительством соответственно;

$A_i^д$ – годовой объем применения комплекта оборудования, приспособлений и инвентаря по организации и технологии по i-му виду работ в натуральных измерителях;
μ – количество рассматриваемых видов работ.

Годовой экономический эффект $Э^{усс}$, возникающий от сокращения сроков строительства, может быть определен по известным формулам:

$$Э^{усс} = Фс \cdot \left(T^н - T^д\right) \cdot Еф + Сс \cdot \beta \cdot \left(1 - T^д / T^н\right), \quad (5)$$

где Фс – стоимость основных фондов, вводимых в действие после окончания строительства;

$T^н$ и $T^д$ – предусмотренная проектом и получення при качественном управлении продолжительность строительства сооружений;
Еф – нормативный коэффициент эффективности функционирования вводимых в действие основных фондов;
Сс – сметная стоимость строящихся сооружений;
β – доля сметной стоимости, зависящая от продолжительности строительства сооружений (часть накладных расходов, часть затрат на эксплуатацию машин и механизмов, затрат на заработную плату и др.).

Данный подход по расчету экономической эффективности позволяет подобрать наиболее целесообразные параметры организации и технологии строительства. Эти параметры на этапе планирования обеспечивают достаточный уровень надежности и являются ориентиром на этапе управления в составе управляющих решений. [8,9,10]

Литература:

1. Корнеев В. А., Баринов Е. Н. Повышение надежности строящихся и эксплуатируемых мостов / В сб.: Повышение надежности строящихся и эксплуатируемых мостов. Павловск : ДУИЦ, 1996. С. 23-27.
2. Гусаков А. А. Организационно-технологическая надежность строительного производства (в условиях автоматизированных систем проектирования). М. : Стройиздат, 1974. 252 с.
3. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Термины и определения. М., 1989.
4. Макаркин Н. П. Экономика надежности техники. М. : Экономика, 2001. 434 с.
5. Четыркин Е. М. Теория массового обслуживания и ее применение в экономике. М. : Финансы и статистика, 1971. 231 с.
6. Виленский П. Л., Лившиц В. Н., Смоляк С. А. Оценка эффективности инвестиционных проектов. Теория и практика. М. : Дело, 2001. 832 с.
7. Autodesk Animator. Tutorials / Autodesk Ink. San Rafael, 1990. 102 p.
8. Шищиц И. Ю. Оценка надежности геотехнических объектов. М. : Изд-во АСВ,, 2007. 211 с.
9. Шульман Г. С., Романов М. В. Надежность инженерных сооружений / СПбГТУ. СПб., 1997. 80 с.
10. Никулин С. М. Надежность элементов радиоэлектронной аппаратуры. М. : Энергия, 1979. 177 с.

** Гасым Исрафиль оглы Абдуллаев, Санкт-Петербург*

Тел. раб.: +7(812) 297-59-49; эл. почта: bagira@cef.spbstu.ru

Технология применения активной примеси при строительстве и эксплуатации подводных трубопроводов

Аспирант Е.А. Маркелова*,
ГОУ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Ключевые слова: турбулентная диффузия; переменная плавучесть; активная примесь; движение частиц.

В процессе строительства и эксплуатации подводных трубопроводов и нефтебуровых станций в морских и речных акваториях случаются аварии, связанные с антропогенным загрязнением, в виде разливов масложировых неасфальтеновых фракций природных маслянистых жидкостей.

Одним из эффективных и экологически безопасных методов ликвидации тонких пленок загрязняющего вещества является использование штаммов микроорганизмов-биодеструкторов. Сообщество этих микроорганизмов образует активную примесь.

Первоначально при намокании в поверхностном загрязняющем веществе частицы активной примеси имеют отрицательную плавучесть и осаждаются в воде под действием сил тяжести.

Скорость осаждения активной примеси зависит от плотности, формы и размеров частиц, количества абсорбированной ими нефти, а также от температуры и солености воды. Все эти факторы будем оценивать интегрально, используя понятие гидравлической крупности – скорости равномерного осаждения отдельной частицы под действием сил тяжести в достаточно большом объеме покоящейся воды. Эта величина устанавливается экспериментально.

На поверхности осаждающейся частицы происходит биохимическое разложение загрязняющего вещества до простейших веществ: воды и углекислого газа. Углекислый газ выделяется на поверхности частицы в виде пузырька. Образовавшийся пузырек CO_2 в процессе осаждения не покидает частицу, а остается на ее поверхности. В результате появления пузырька (или нескольких пузырьков) и их роста средняя плотность частицы активной примеси уменьшается. При этом вначале скорость осаждения частиц уменьшается, а затем они останавливаются, приобретают положительную плавучесть и начинают всплывать.

По мере приближения к свободной поверхности давление воды уменьшается, и объем пузырьков газа увеличивается в дополнение к их росту за счет биохимической реакции. Достигнув свободной поверхности, частица теряет пузырек, вновь насыщается загрязняющим веществом, приобретает отрицательную плавучесть и осаждается.

В результате многократного осаждения и всплытия на поверхность одной и той же частицы возможно экономичное использование активной примеси для ликвидации поверхностных загрязнений акваторий, заключающееся в ее уменьшенной подаче на свободную поверхность. При этом на процесс осаждения/всплытия частиц активной примеси будут накладываться факторы турбулентности.

В условиях естественных водоемов на многократное осаждение и последующее всплытие частиц накладывается рассеяние за счет переноса с вертикальными пульсациями скорости, т.е. турбулентной диффузией.

В настоящей работе горизонтальную конвекцию из рассмотрения исключаем и рассматриваем одномерную модель рассеивания частиц в вертикальном направлении под влиянием двух факторов:

1) осаждения и всплытия за счет биохимического разложения загрязняющего вещества;

2) переноса с пульсационными скоростями, т.е. турбулентной диффузией.

Для математического описания этого процесса в связи с необходимостью учета нескольких факторов (изменяющаяся во времени плавучесть активной примеси, турбулентность водной среды и т.д.) используется модель диффузии с конечной скоростью (ДКС).

Для формулировки модели введем следующие допущения.

1. Скорость осаждающихся частиц w_0 постоянна.

2. При всплывании частицы имеют постоянную скорость w_B и всегда достигают свободной поверхности. На свободной поверхности они за короткий промежуток времени (пренебрежимо малый по сравнению со временем осаждения и всплытия) снова насыщаются нефтью и начинают осаждаться.

3. В турбулентном потоке, в процессе осаждения и всплытия, частицы переносятся хаотически движущимися объемами воды, в которых они содержатся. Таким образом, на осаждение и всплывание активной примеси накладывается перенос вверх и вниз с вертикальными пульсациями скорости $u_z^{'}$.

Начало координат расположено на свободной поверхности, а ось $\overline{\overline{Z}}$ направлена вниз.

Характерная вертикальная пульсационная скорость жидкого объема, переносящего частицу активной примеси, определяется значениями вертикальных пульсаций скорости в турбулентном потоке. Было принято значение составляющей скорости частиц, обусловленных турбулентностью, равное стандарту пульсаций:

$$u_z^{''} = \sqrt{\overline{(u_z^{'})^2}} \ .$$

Период вертикальных пульсаций скорости во много раз меньше, чем характерное время осаждения и всплытия частиц.

В соответствии с этими допущениями примем следующую модель ДКС: частицы подразделяются на четыре сорта, концентрацию каждого из которых обозначим ϑ_j, j=1,2,3,4. Очевидно, что физическая концентрация агрегатов микрофлоры $\vartheta = \sum_{j=1}^{4} \vartheta_j$.

Согласно модели ДКС частицы каждого *i*-го сорта могут двигаться только с определенной скоростью, которую обозначим u_i. Движение с другими скоростями считается недопустимым.

В процессе рассеяния частицы изменяют свою скорость с одной возможной на другую, и при этом изменяется сорт этих частиц.

Примем следующий набор возможных скоростей.

Частицы 1-го сорта осаждаются со скоростью w_0 и поднимаются вверх за счет вертикальных пульсаций скорости $-u_z^{''}$. Частицы 2-го сорта осаждаются со скоростью w_0 и дополнительно опускаются с вертикальной пульсацией скорости $u_z^{''}$. Частицы 3-го сорта всплывают со скоростью $-w_B$ и дополнительно поднимаются со скоростью $-u_z^{''}$. Частицы 4-го сорта всплывают со скоростью $-w_B$ и опускаются с пульсационной скоростью $u_z^{''}$.

Таким образом, частицы каждого *i*-го сорта движутся со следующими возможными скоростями u_i:

$$u_z^{(1)} = w_0 - u_z^{''}; \qquad u_z^{(2)} = w_0 + u_z^{''}; \qquad u_z^{(3)} = -w_B - u_z^{''}; \qquad u_z^{(4)} = -w_B + u_z^{''};$$

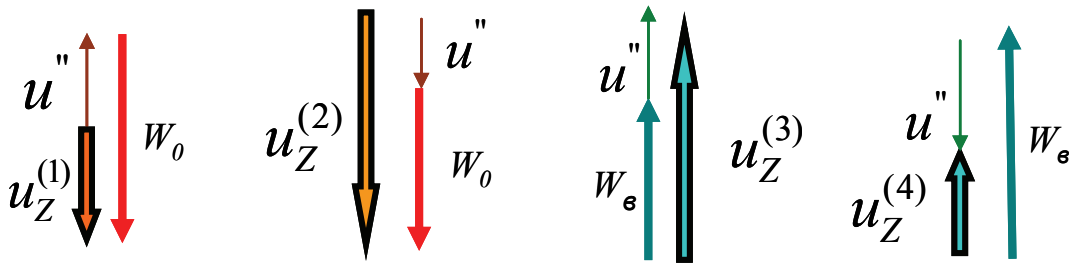


Рисунок 1. Возможные скорости движения частиц активной примеси

Частицы изменяют свою возможную скорость и при этом переходят из одного сорта в другой с определенной частотой. Под частотой $\omega_{i,j}$ в модели ДКС принимают отношение количества частиц *i*-го сорта в единичном объеме к количеству всех частиц *i*-го сорта в этом объеме, которые в единицу времени изменят на сорт *j*, то есть частицы со скоростью u_i перешли в u_j. Величина $\omega_{i,i}$ представляет собой отношение частиц *i*-го сорта, которые за единицу времени переходят в любой другой сорт, к количеству частиц *i*-го сорта в единичном объеме. Как показано в (2), эти частоты связаны с периодом осаждения и всплывания частиц и с характерной частотой турбулентной пульсации скорости. При этом вводят две основные частоты изменения сорта частиц. Первая из них $\omega^{(c)}$ обратно пропорциональна периоду осаждения и всплывания частиц. Она определяет переход осаждающихся частиц (ϑ_1 и ϑ_2) во всплывающие (ϑ_3 и ϑ_4).

Вторая частота $\omega^{(T)}$ определяется турбулентным режимом движения. С этой частотой частицы, переносящиеся со скоростью $u_z^{''}$ вверх, начинают двигаться с такой же скоростью, но вниз. Это частота, с которой концентрация частиц ϑ_1 меняется на ϑ_3, и ϑ_2 меняется на ϑ_4. Эта частота определяется с помощью энергетического спектра вертикальных пульсаций скорости.

В соответствии с вышеизложенным, система уравнений ДКС примет вид [2]:

$$\frac{\partial \vartheta_i}{\partial t} + u_z^{(i)} \frac{\partial \vartheta_i}{\partial z} = \sum_{j=1}^{4} \omega_{ij} \vartheta_j \ , \qquad (1)$$

где $i = 1,2,3,4$;

$$\omega_{ij} = \begin{pmatrix} \omega_{11} & \omega_{12} & \omega_{13} & \omega_{14} \\ \omega_{21} & \omega_{22} & \omega_{23} & \omega_{24} \\ \omega_{31} & \omega_{32} & \omega_{33} & \omega_{34} \\ \omega_{41} & \omega_{42} & \omega_{43} & \omega_{44} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -(2\omega^{(c)} + \omega^{(T)}) & \omega^{(T)} & 0 & 0 \\ \omega^{(T)} & -(2\omega^{(c)} + \omega^{(T)}) & 0 & 0 \\ \omega^{(c)} & \omega^{(c)} & -(2\omega^{(c)} + \omega^{(T)}) & \omega^{(T)} \\ \omega^{(c)} & \omega^{(c)} & \omega^{(T)} & -(2\omega^{(c)} + \omega^{(T)}) \end{pmatrix}.$$

Представим расчетные уравнения в безразмерном виде. Выберем в качестве масштаба времени характерное время осаждения T_{oc}, в качестве линейного масштаба глубину водоема *h*. Кроме того, для упрощения положим, что W_{oc} и $W_в$ равны *W*. При этом безразмерное время $\tau = \frac{t}{T_{oc}}$, безразмерная координата $\zeta = \frac{Z}{h}$, относительная пульсационная скорость $u^t = \frac{u^{''}}{W}$. Обозначим безразмерный параметр $\frac{WT_{oc}}{h}$ как w^t, который представляет собой безразмерную гидравлическую крупность и является основным параметром, определяющим процесс осаждения/всплытия.

Принимая во внимание, что $\omega^c = \frac{1}{T_{oc}}$, представим уравнение (1) в следующем виде:

$$\frac{\partial \vartheta_1}{\partial \tau} + w^t\left(1+u^t\right)\frac{\partial \vartheta_1}{\partial \zeta} = \sum_{i,j=1}^{4} a_{ij}\vartheta_j \quad \frac{\partial \vartheta_2}{\partial \tau} + w^t\left(1-u^t\right)\frac{\partial \vartheta_2}{\partial \zeta} = \sum_{i,j=1}^{4} a_{ij}\vartheta_j$$

$$\frac{\partial \vartheta_3}{\partial \tau} - w^t\left(1+u^t\right)\frac{\partial \vartheta_3}{\partial \zeta} = \sum_{i,j=1}^{4} a_{ij}\vartheta_j \quad \frac{\partial \vartheta_4}{\partial \tau} - w^t\left(1-u^t\right)\frac{\partial \vartheta_4}{\partial \zeta} = \sum_{i,j=1}^{4} a_{ij}\vartheta_j \ , \qquad (2)$$

где матрица a_{ij} имеет вид:

$$a_{ij} = \begin{pmatrix} -(2-a) & a & 0 & 0 \\ a & -(2-a) & 0 & 0 \\ 1 & 1 & -a & a \\ 1 & 1 & a & -a \end{pmatrix}, \text{ где } a = \frac{\omega^T}{\omega^c} \quad (3)$$

Граничные условия на свободной поверхности

Для решения задачи нахождения концентрации на свободной поверхности введем в расчетную сетку фиктивные, вне физической области, узлы с номерами *i=0, E+1.* На верхней границе рассчитываем в *(j+1)* вертикали концентрации $(\vartheta_3)_1^{j+1}$ и $(\vartheta_4)_1^{j+1}$.

Обозначим $P = \frac{\pi * m}{2T_0}\sin\left(\frac{\pi * j * \Delta\tau}{T_0}\right)$ при $j\Delta\tau < T_0$, либо *P=0* при $j\Delta\tau > T_0$.

Полагая, что на свободной поверхности $(\vartheta_1)_0^{j+1} = (\vartheta_2)_0^{j+1}$, т.е. равный переход сортов 1 и 2 в момент $t>T_0$, получим:

$$(\vartheta_1)_0^{j+1} = (\vartheta_2)_0^{j+1} = P + \left(\frac{((\vartheta_3)_1^{j+1} * (1-u^t) + (\vartheta_4)_1^{j+1} * (1+u^t))}{2}\right). \quad (4)$$

Граничные условия на дне

Так как при нахождении концентрации частиц биосорбента на дне действует либо условие отражения, либо условие поглощения, то для реализации первого условия введем в расчетную сетку фиктивные, вне физической области, узлы с номерами *i=E+1, j+1.* На ней рассчитываем в *(τ +1)* вертикали концентрации $(\vartheta_1)_{E+1}^{j+1}$ и $(\vartheta_2)_{E+1}^{j+1}$. Полагая, что $(\vartheta_3)_E^{j+1} = (\vartheta_4)_E^{j+1}$, т.е. равный переход сортов 3 и 4 в момент *t>0*, получим:

$$(\vartheta_3)_{E+1}^{j+1} = \left(\frac{((\vartheta_1)_E^{j+1} * (1-u^t) + (\vartheta_2)_E^{j+1} * (1+u^t))}{2}\right). \quad (5)$$

Для реализации второго условия взаимодействия дна (*i=E*) с частицами использовалось следующее соотношение:

$$(\vartheta_3)_{E+1}^{j+1} = 0, \quad (\vartheta_4)_{E+1}^{j+1} = 0. \quad (6)$$

Для численного решения системы уравнений (2) необходимо экспериментально определить величины скоростей осаждения и всплытия активной примеси, характерный период цикла осаждения, всплывания частиц.

Методика и результаты экспериментальных исследований приведены в [3].

При биодеструкции поверхностного загрязняющего вещества частицами активной примеси важную роль играют параметры окружающей водной среды. Одним из таких параметров является наличие и величина пульсационных скоростей турбулентного потока. В ходе моделирования были выявлены зависимости времени биодеструкции нефтяного пятна от величины пульсаций (рис. 2-3). На рис. 2 представлена зависимость времени биодеструкции при дефицитной загрузке $\frac{m_{бс}}{M_{бс}} = 0{,}4$ относительных пульсационных скоростей водной среды.

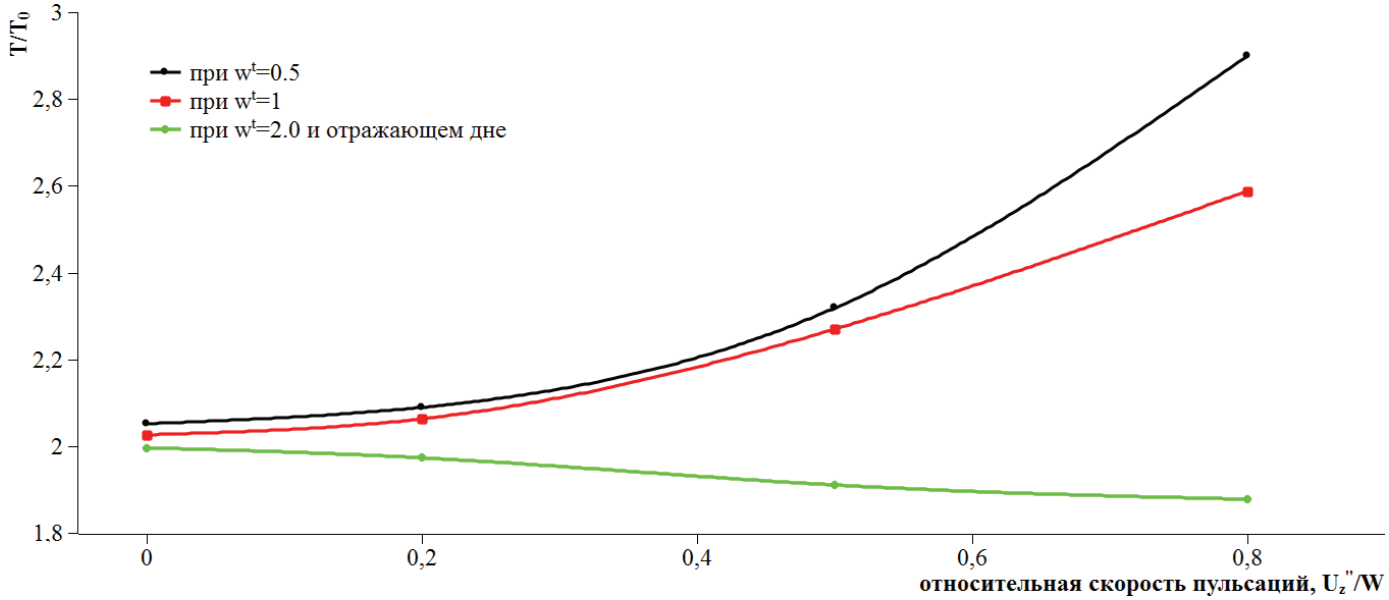


Рисунок 2. Влияние относительной пульсационной скорости на время биодеструкции поверхностного загрязнения

Как видно из графика, с увеличением скорости турбулентного потока и глубины водоема (w^t=0,5) время на биодеструкцию увеличивается на 30% относительно неглубокого водоема (w^t=2) со спокойной водой и на 40% при наличии пульсаций в неглубоком водоеме. На рис. 3 представлена зависимость времени биодеструкции загрязняющего поверхностного вещества от величин пульсаций при дефицитной загрузке $\frac{m_{бс}}{M_{бс}} = 0{,}2$ и различной глубине водоема.

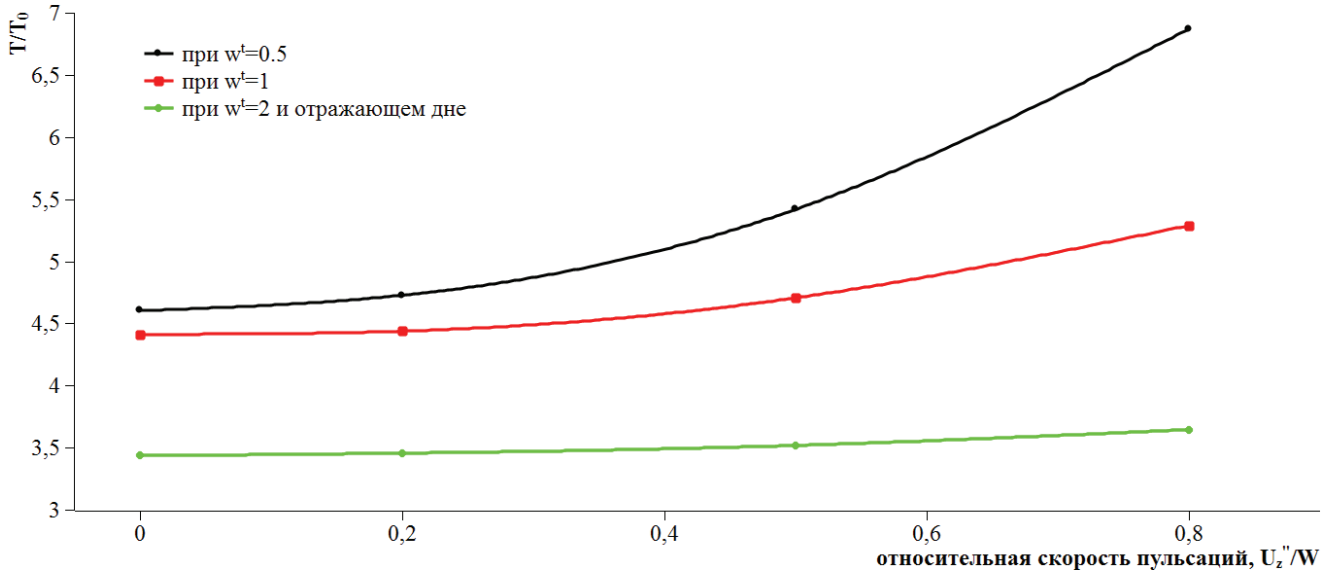


Рисунок 3. Влияние относительной пульсационной скорости и дефицитной загрузки 0,2 на время биодеструкции поверхностного загрязнения

Как видно из графика, с уменьшением величины дефицитной загрузки до 0,2 и увеличением глубины водоема время на биодеструкцию поверхностной пленки увеличилось в 3,7 раза. При мелком водоеме влияние относительных пульсаций несущественно.

На основании вышеприведенного анализа оказалось возможным представить результаты расчетов в форме, позволяющей выполнять практические расчеты, для установления снижения нормы подачи активной примеси в зависимости от времени, требуемого для очистки акватории при фиксированном количестве загрязняющего вещества на свободной поверхности.

Представим таблицу (табл. 1) значений гидравлической крупности $W = \left[\frac{см}{сек}\right]$ и глубины осаждения $L = [см]$ для фракции 1,0≤d<2,0 мм, найденных экспериментально [3]. Знак «–» в таблицах означает, что частицы в процессе биодеструкции не всплывают и цикл «осаждение/всплытие» не реализуется.

Таблица 1. Значения гидравлической крупности и глубины осаждения для фракции 1,0≤d<2,0 мм

	0‰	10‰	20‰	40‰
5°C	*W*=0,73 *L*=40	–	–	–
10°C	*W*=0,81 *L*=54	*W*=0,63 *L*=16	–	–
20°C	*W*=0,89 *L*=75	*W*=1,03 *L*=19	*W*=0,93 *L*=18	–

По данным исследований, проведенных в ГУ «Государственный гидрологический институт», наиболее труднореализуемыми являются мероприятия по очистке вынесенных на свободную поверхность загрязнений в пойменных участках рек. Поэтому приведем пример расчета именно для этого случая.

Пример расчета

Пусть на поверхности водоема разлито $M^0_{НП}$ загрязняющего вещества. Для единовременного его удаления необходима $M_{бс}$ активной примеси. Для удаления поверхностной пленки будем использовать частицы с размером 1,0≤d<2,0 мм. Состояние водной среды: 10°C, 0‰. Глубина водоема 0,25 м. Величина вертикальных пульсаций 0,15 см/сек. Время намокания частиц в загрязняющем веществе T_0=30 сек. Время, определяемое для очистки водоема, t_{end}=60 сек. Используя приведенные выше значения осредненных значений гидравлической крупности и глубины осаждения частиц активной примеси, найдем относительную гидравлическую крупность w^t=(L/h)=0,5 и относительную пульсационную скорость u^t=(U_z/W)=0,2. Используя приведенную ниже номограмму (рис. 4), находим ту дефицитную загрузку активной примеси $\frac{m_{бс}}{M_{бс}}$, при которой возможно удаление 98% загрязняющего вещества $M^{98}_{НП}$ за задаваемое время t_{end}.

Используя кривую для w^t=0,5, находим, что $\frac{m_{бс}}{M_{бс}}$ будет равна 0,4. Это означает, что при заданных условиях возможно сокращение массы загружаемого на поверхностную пленку активной примеси $m_{бс}$ до 40% от $M_{бс}$. Как видно из приведенной ниже номограммы, значение $\frac{m_{бс}}{M_{бс}}$, равное 0,4, приемлемо для любой глубины и состояния донной поверхности водоема.

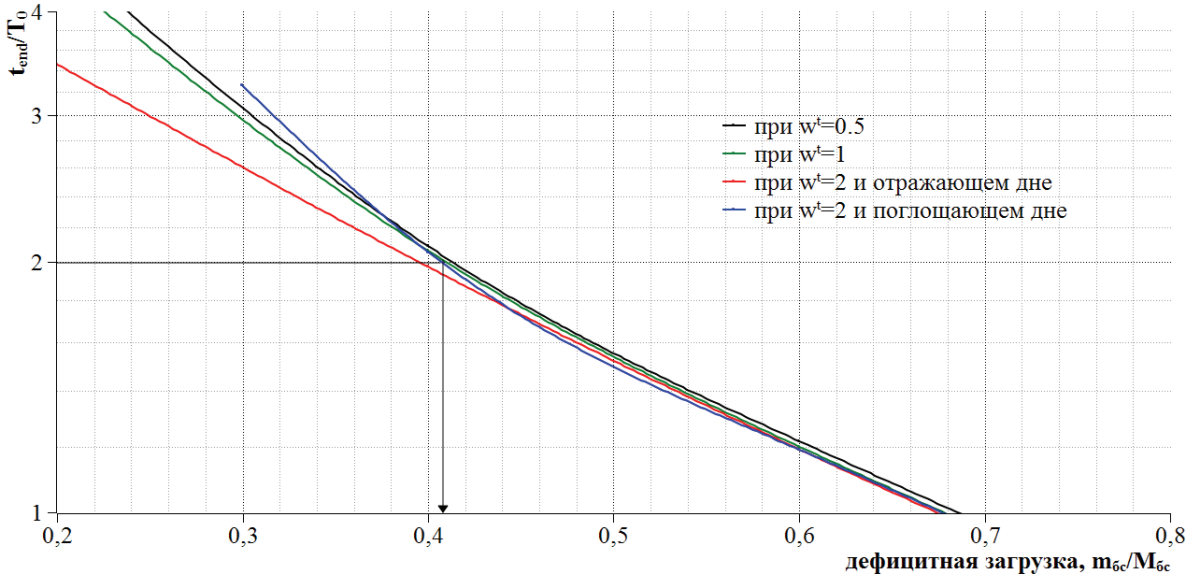


Рисунок 4. Расчетная номограмма для определения дефицитной загрузки активной примеси

Таким образом, при применении данной технологии можно дать следующие рекомендации:

1) использовать активную примесь, не закрепленную на носителе;
2) использовать частицы размером от 0,25 до 2 мм;
3) для ликвидации поверхностных пленок на поверхности морских водоемов учитывать состояние водной среды – температуру и соленость;
4) при наличии в водоеме турбулентности учитывать значительное увеличение времени удаления поверхностной пленки;
5) при использовании активной примеси по данной технологии на мелководье учитывать состояние донной поверхности.

Литература:

1. Гиргидов А. Д. Механика жидкости и газа. СПб. : Изд-во СПбГПУ, 2004. 545 с.
2. Гиргидов А. Д. Турбулентная диффузия с конечной скоростью. СПб. : Изд-во СПБГТУ, 1996. 260 с.
3. Маркелова Е. А. Экспериментальное исследование гидравлических характеристик биосорбента для удаления нефтяной пленки с поверхности воды // Вестник гражданских инженеров. 2010. №4(25). С. 136-138.
4. Гончаров В. С., Гурянов А. Н., Касимов А. Р. Математическое моделирование многокомпонентной диффузии в реальных системах // Техника машиностроения. 2001. № 4. С. 44–45.
5. Горбис З. Р., Спокойный Ф. Е. Физическая модель и математическое описание процесса движения мелких частиц в турбулентном потоке газовзвеси // Теплофизика высоких температур. 1977. Т. 15. № 2. С. 399–408.
6. Дюнин А. К. Общие дифференциальные уравнения двухфазных потоков // Изв. Сиб. отд. АН СССР. 1961. № 10. С. 43–48.
7. Зегжда А. П. Падение зерен песка и гравия в стоячей воде // Изв. НИИ Гидротехники. 1934. Т. 12. С. 30-54.
8. Колесниченко А. В., Маров М. Я. Турбулентность многокомпонентных сред. М. : Наука, 1999. 336 с.
9. Копытина С. В. Разработка технологии очистки сточных вод от нефтяных загрязнений с использованием иммобилизованных микроорганизмов-биодеструкторов : автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук : 03.00.23. М., 2000. 25 с.
10. Крайко А. Н., Стернин Л. Е. К теории течений двухскоростной сплошной среды с твердыми или жидкими частицами // Прикладная математика и механика. 1965. Т. 29. № 3. С. 418-429.
11. Леви И. И. Моделирование гидравлических явлений. Л. : Энергия, 1967. 235 с.
12. Озмидов Р. В. Диффузия примесей в океане. Л. : Гидрометеоиздат, 1986. 278 с.
13. John J. Kibane II. Biotechnological upgrading of petroleum // Petroleum microbiology. AMS Press. Washington, 2005. Pp. 239-255.

** Елена Александровна Маркелова, Санкт-Петербург, Россия*

Тел. моб.: +7(921)386-59-76; эл. почта: earth-sale@ya.ru

Ⓟ

23-25 ноября 2011 г. состоится

Четвертая международная научно-техническая конференция

«ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ»

посвященная 90-летнему юбилею МГСУ-МИСИ и кафедры отопления и вентиляции МГСУ,

а также 55-летию НИИСФ РААСН

Организатор конференции:
ГОУ ВПО Московский государственный строительный университет (МГСУ)

При участии:
Научно-исследовательского института строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН),
Ассоциации инженеров по отоплению, вентиляции, кондиционированию воздуха, теплоснабжению и строительной теплофизике (НП АВОК)

Тематическая направленность конференции: теоретические аспекты и перспективные направления научных исследований в области теплогазоснабжения и вентиляции и результаты их практического применения в современных условиях, а также сопутствующие вопросы градостроительства и архитектуры.

К участию в конференции приглашаются преподаватели, студенты, аспиранты, докторанты и сотрудники вузов и научно-исследовательских, проектных и производственных организаций, специалисты заинтересованных фирм и компаний РФ, стран СНГ и дальнего зарубежья.

Тематика пленарных заседаний и секций: строительная теплофизика, энергосбережение и энергоэффективность, отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха, теплоснабжение, котельные установки, газоснабжение.

Предполагаемая информационная поддержка конференции: журналы «АВОК», «С.О.К.», «Инженерные системы», «Новости теплоснабжения», «Энергосбережение и водоподготовка», «Полимергаз», «Светопрозрачные конструкции», «Инженерно-строительный журнал», Информационно-издательский центр «Современные строительные конструкции».

К началу конференции предполагается издание **сборника докладов на базе журнала** «Вестник МГСУ», издаваемого МГСУ и **входящего в список журналов, рекомендуемых ВАК РФ** для публикации материалов диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук по направлению «Строительство». К публикации принимаются доклады только научно-технического характера, которые публикуются в сборнике бесплатно. Все доклады рецензируются Научным комитетом конференции, который оставляет за собой право отклонить доклад при его несоответствии требованиям, предъявляемым к публикациям в «Вестнике МГСУ».

В рамках конференции предполагается проведение открытого **конкурса на лучшую научно-исследовательскую работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых** (в возрасте до 35 лет). Соответствующий доклад должен быть подготовлен без соавторства старших по возрасту сотрудников, за исключением научного руководителя конкурсанта. Другие условия конкурса будут сообщены дополнительно.

Место проведения: Москва, Ярославское ш., д. 26, ГОУ ВПО Московский государственный строительный университет (МГСУ)

Представители оргкомитета: проф., к.т.н. Махов Леонид Михайлович; доц., к.т.н. Самарин Олег Дмитриевич; ст. преп. Лушин Кирилл Игоревич. Тел.: **(499) 188-36-07.** E-mail: tgvconf@mail.ru

О намерении участвовать в конференции в качестве докладчика или участника просьба сообщить в оргкомитет по E-mail **до 30 апреля 2011 г.** Одновременно необходимо выслать ориентировочные названия тем докладов и их краткие тезисы. Если работа направляется на конкурс молодых ученых, это должно быть отмечено в письме. В случае принятия доклада оргкомитетом, Вы получите инструкцию по оформлению доклада и условия проведения молодежного конкурса.

ПРИГЛАШАЕМ К СОТРУДНИЧЕСТВУ!

Математическое моделирование гидравлических режимов балансировки и управления подсистемой нагревания и охлаждения-осушения воздуха в СКВ и СВ[1]

Д.т.н., профессор А.Г. Сотников*,
НП «АВОК-Северо-Запад»;
магистрант А.П. Русаков,
ГОУ Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий

Ключевые слова: давление; расход; характеристика; балансировка; управление; клапан; плунжер; режим; модель; график; зависимость; *запирание*; *шунтирование*; нелинейность.

Основной характеристикой, получаемой и анализируемый в модели, является БРХ – **балансировочно-регулировочная характеристика** (график) смешения в узле в зависимости от сочетания многих факторов: обвязки, перемычек, расположения соответствующих клапанов, давлений (P_1, P_2, $P_{нас}$) и других параметров, представляемая в виде:

$$\bar{G}_{W\text{см}} = G_W / G_{W\text{см}} = \frac{t_{W\text{см}} - t_{W\text{к}}}{t_{W\text{н}} - t_{W\text{к}}} = f\left(\bar{h},\ n,\ \bar{p},\ s,\ \zeta,\ \ldots\right), \qquad (6)$$

где $\bar{h} = 0...1$ — относительное положение плунжера трехходового регулирующего клапана, n=0…10 – число оборотов балансировочного клапана, $\bar{p} = 0,01...10$ — относительное давление воды в подсистеме, s – относительное сопротивление клапана в долях от располагаемого давления P_1–P_2+$P_{нас}$, ζ – КМС клапана данной конструкции.

В частном случае при $\bar{h} = \text{const}$, а n=var характеристику одсистемы называют **балансировочной**, а в другом частном случае при $\bar{h} = \text{var}$, а n=const – **регулировочной** характеристикой подсистемы. При разных перемычках формула (6) трансформируется (см. рис. 1), в нее подставляют разные индексы и температуры воды.

Для получения балансировочно-регулировочной характеристики (БРХ) подсистемы в разных режимах работы создана ее математическая модель, предложены методы обработки и обобщения данных. После этого выполнены расчеты в разных режимах использования перемычек, позволившие определить все режимные параметры при заданных положениях балансировочных и регулирующего клапанов, соотношения давлений в сети и насоса, конструкции арматуры и начальных условий (рис. 8).

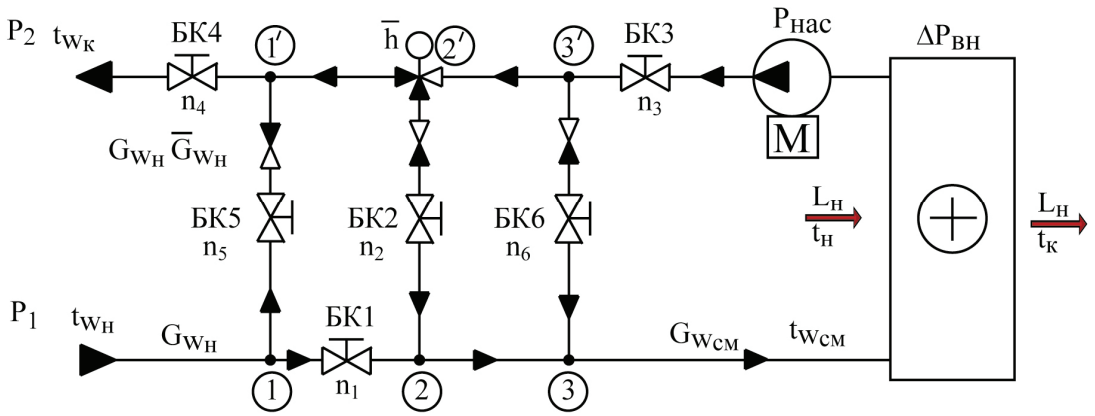


Рисунок 8. Упрощенная схема узла нагревания с нумерацией всех балансировочных клапанов

[1] Начало статьи – см. № 1, 2011. Нумерация формул и рисунков в этой статье продолжает принятую нумерацию в первой части.

При создании модели приняты следующие допущения:

- в модели рассматриваются установившиеся режимы течения воды;
- начальные условия для точек измерения параметров горячей (P_1, t_{WH}) и обратной (P_2, t_{WK}) воды приняты независимыми от фактического расхода горячей воды в подсистеме;
- скорость воды в трубопроводах обвязки принята невысокой, длина труб – малой, вследствие чего гидравлическое сопротивление труб считается пренебрежимо малым по сравнению с сопротивлением аппарата и арматуры, и поэтому его не учитывают ($\Delta P_{тр} << P_{нас}$);
- расход воздуха через аппарат принят известным и постоянным;
- коэффициент эффективности аппарата $\theta_В = f(G_В, G_{Wсм})$ принят постоянным и не зависящим от расхода воды при его незначительном изменении.

Для построения математической модели приняты следующие положения и зависимости:

- схема обвязки воздухонагревателя имеет разное число перемычек, разное расположение по отношению к основной (2 – 2′) и разное число балансировочных клапанов; в процессе рассмотрения некоторые элементы могут исключаться из схемы;
- во всех узлах алгебраическая сумма расходов воды равна нулю;
- для параллельных полуколец циркуляции принято условие равенства сопротивлений этих полуколец;
- для рассматриваемой системы выбран воздухонагреватель с эффективностью $\theta_В$=0,4, перепад давления на воздухонагревателе зависит от расхода воды и аппроксимирован степенной функцией $\Delta P_{BH} = aG^b_{Wсм}$;
- перепад давления, создаваемый насосом, зависит от расхода воды по формуле (3);
- в качестве балансировочных клапанов приняты многооборотные клапаны Danfoss, их характеристики представлены на рис. 7;
- значения k_v балансировочных клапанов определяются в зависимости от их диаметра $d_у$, степени открытия (числа оборотов n) и аппроксимированы многочленами вида $k_{vs} = f(d_у, n)$;
- перепады давлений на каждом из балансировочных клапанов определяются по зависимости $\Delta P_{бк} = 100(G_W/k_{vs})^2$, кПа;
- в качестве трехходового принят клапан с протечкой, его КМС при разных положениях плунжера приведен на рис. 6;
- перепад давления, кПа, и условный расход k_{vs} приняты связанными с коэффициентами сопротивления трехходового клапана по формуле (5) и определяются на проход и поворот по уравнению Вейсбаха:

$$\Delta P_{рег.кл} = \left(\frac{G_{Wсм}}{F_{см}}\right)^2 \frac{\rho_W \zeta(\bar{h})}{2}, \qquad (7)$$

- все текущие параметры воды и воздуха приняты переменными, но для упрощения рассмотрения модели некоторые начальные параметры зафиксированы.

Для определения относительного расхода воды $\bar{G}_W$ учитывают температуры воды, см. формулу (6). Если требуется определить положение трехходового клапана, то задаются относительным расходом воды $\bar{G}_W$.

Для уменьшения числа переменных, упрощения обработки опытных данных и возможности их обобщения введены следующие комплексы.

Относительный перепад давления $\bar{p} = (P_1 - P_2)/P_{нас} = 0...\infty$ есть отношение перепада давлений на границах данной подсистемы к давлению насоса. В одном крайнем случае при $\bar{p} \to \infty$ циркуляционный насос отсутствует или не влияет на циркуляцию, подмешивание воды не происходит и аппарат управляется расходом воды. В другом крайнем случае при $\bar{p} \to 0$ перепад давлений в теплосети очень мал, внешняя вода не поступает к узлу нагревания и аппарат работает на циркулирующей воде, которая при включенном вентиляторе быстро остывает.

Во всех остальных реальных случаях при $\bar{p} = 0,01...10$ к аппарату поступает смесь горячей и рециркуляционной воды, но наблюдается эффект *запирания* (см. далее). В частности, вода с большим давлением в определенных режимах *не пускает* другую воду с меньшим давлением, и процесс смешения не происходит. Последнее обстоятельство, не описанное в литературе по ОВ-технике, отличает реальную

систему от той, которую обычно рассматривают. Все это вместе приводит к существенному искажению регулировочной характеристики трехходового клапана по сравнению с его собственной (без сети), его коэффициента передачи $k_{\overline{G}_W-\overline{h}} = d\overline{G}_W / d\overline{h}$ и в целом процесса управления.

В узлах (тройниках) такой системы при открытых перемычках вместо трех расходов воды: внешней, рециркуляционной и их смеси, – рассматривают **относительный расход воды на проход** (формула (6)). **Относительное сопротивление трехходового регулирующего клапана** *s* в принятых обозначениях давления $\overline{p}$ определялось как $s = \Delta P_{\text{кл}} / (\overline{p}+1) P_{\text{нас}}$ и в исследованиях составляло *s*>0,8.

Все рассмотренные режимы, отличающиеся используемыми и закрытыми перемычками, балансировочными клапанами, относительным давлением $\overline{p}$ и другими условиями, представлены на сводной блок-схеме исследований (рис. 9).

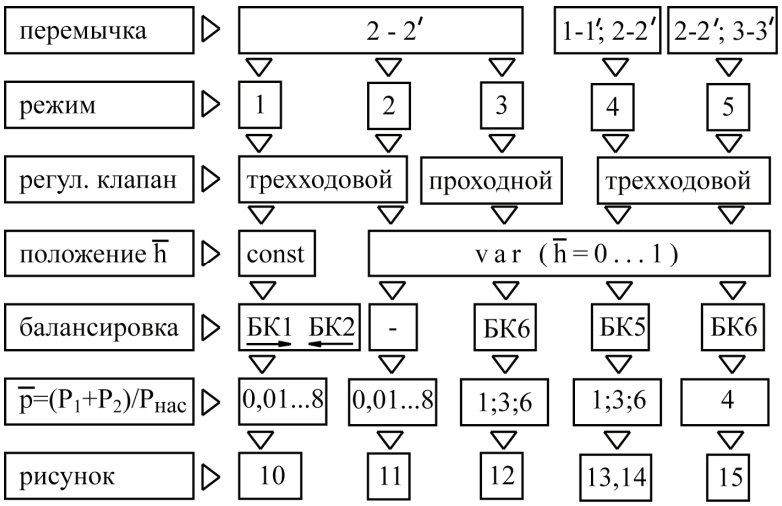


Рисунок 9. Сводная блок-схема исследований в рамках задачи о математическом моделировании гидравлических режимов балансировки и управления подсистемы нагревания и охлаждения-осушения воздуха в СКВ и СВ

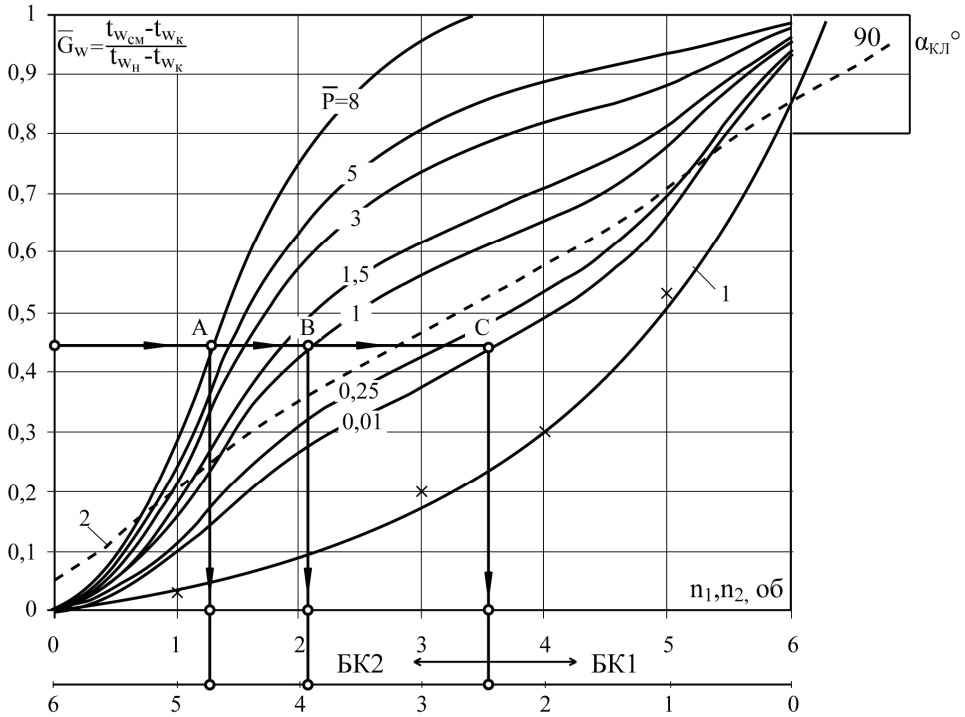


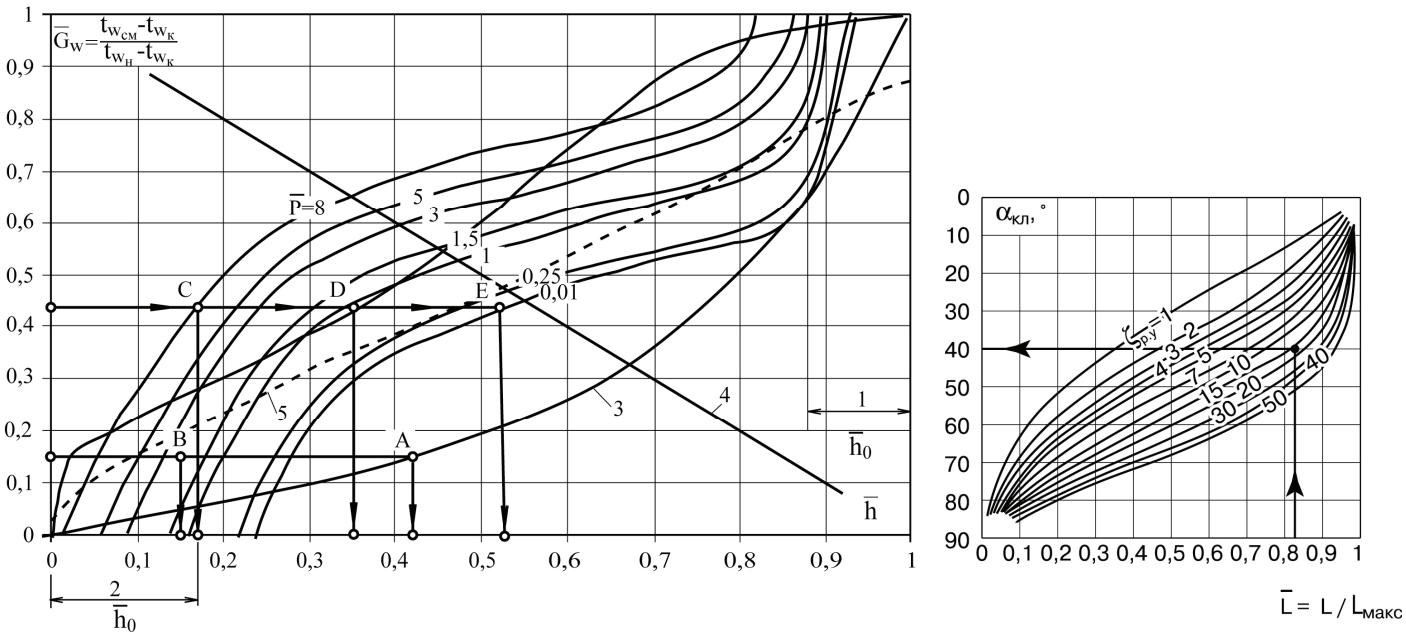
Рисунок 10. Балансировочная характеристика узла – зависимость относительного расхода воды $\overline{G}_{W2}$ от относительного перепада давлений $\overline{p} = 0,01...8$ и оппозитной (встречной) балансировки узла клапанами БК1 и БК2. Регулирующий клапан находится в промежуточном положении $\overline{h} = 0,7$, его собственная характеристика без учета сети – линия 1, пунктирная линия 2 – собственная регулировочная характеристика оппозитных воздушных клапанов наружного и рециркуляционного воздуха центральных кондиционеров, испытанных без сети [17]

Ключ: при требуемом по условиям нагревания воздуха относительном расходе воды $\overline{G}_{W2} = 0,45$ и разном $\overline{p} = 8;\ 1$ и $0,01$ балансировочные клапаны БК1 и БК2 находятся в разных положениях

Режим 1. В этом режиме балансировка (рис. 10) производится оппозитно (встречно) только клапанами БК1 и БК2, клапаны БК3 и БК4 приняты полностью открытыми, перемычки 1 – 1′ и 3 – 3′ закрыты, трехходовой клапан зафиксирован в положении $\bar{h} = 0,7$. Такой режим в известном смысле имитирует работу трехходового регулирующего клапана, поэтому зависимости для этих случаев оказались достаточно похожими (рис. 10, 11).

На основе исследований этого режима можно сделать вывод, что относительный перепад давлений очень сильно влияет на характеристику узла. В частности, при большом значении $\bar{p} = 8$ отмечается *запирание*, когда $\bar{G}_W = 1$, т. е. горячая вода не пускает на подмешивание обратную. Эта характеристика является криволинейной, хотя при $\bar{p} = 0,25...1,5$ кривизна выражена меньше.

Режим 2. В данном режиме (рис. 11, *а*) исследуется регулировочная характеристика узла при *обычном* управлении трехходовым водяным клапаном, *n=const,* анализируется ее кривизна, явление *запирания* при разных значениях $\bar{p} = 0,01...8$. Для сравнения на рис. 11, *б* приведена регулировочная характеристика круглого одностворчатого дроссельного воздушного клапана при его разном относительном сопротивлении: $\zeta_{р.у}=\Delta P_{кл}(\alpha)/P_{дин}$. Очевидна аналогия гидравлических и аэродинамических характеристик, несмотря на существенное различие конструкции этих устройств. Обращаем внимание читателя, что положение регулирующего органа на рис. 11, *а* соответствует горизонтальной оси, а на рис. 11, *б* – вертикальной, т. е. эти рисунки повернуты один относительно другого на 90°, что нужно учитывать при сравнении и анализе.



а б

Рисунок 11. Сравнительные регулировочные характеристики трехходового водяного и круглого воздушного клапана:

***а* – влияние относительного перепада давления $\bar{p} = 0,01...8$ на регулировочную характеристику узла нагревания: *1*, *2* – зона *запирания* горячей водой обратной воды и наоборот; *3*, *4* – собственная характеристика трехходового клапана на проход и на поворот; *5* – собственная регулировочная характеристика оппозитных воздушных клапанов наружного и рециркуляционного воздуха центральных кондиционеров, испытанных без сети [17].**

Ключ: в конкретном режиме нагревания воздуха t_{WH}=67 °С, $t_{Wсм}$=45 °С, t_{WK}=30 °С, чему соответствует относительный расход воды $\bar{G}_{Wсм} = (45-30)/(67-30) = 0,45$. Для этого случая при $\bar{p} = 8$ в точке *С* положение плунжера $\bar{h} = 0,17$, при $\bar{p} = 1$ в точке *D* — $\bar{h} = 0,35$, при $\bar{p} = 0,01$ в точке *Е* — $\bar{h} = 0,53$. Таким образом, положение плунжера $\bar{h}$ существенно меняется в зависимости от относительного давления $\bar{p}$;

***б* – влияние относительного сопротивления проходного створчатого воздушного клапана и угла поворота его створки на его регулировочную характеристику $\bar{L} = L / L_{расч} = f(\alpha_{кл}, \zeta_{р.у})$**

Рассмотренный режим является основным для работы трехходового клапана, поэтому выводы, которые можно сделать из рис. 11, а, являются наиболее важными для процесса управления. Прежде всего отмечаются криволинейность регулировочной характеристики и эффекты *запирания* на участках 1 и 2 рис. 11, а, зависящие от величины $\overline{p}$. В частности, при малом $\overline{p}$ обратная вода не пускает горячую, при большом $\overline{p}$, наоборот, горячая вода не пускает обратную. В этих случаях процесс управления температурой воды перед аппаратом не происходит. Совместные явления *запирания* меньше выражены, если $\overline{p} \approx 1$. Наблюдаемые на практике колебания давления в сети негативно отражаются на регулировочной характеристике узла нагревания, требуется стабилизация перепада давлений P_1–P_2 или периодическая балансировка.

Режим 3. В этом режиме моделируется БРХ при управлении проходным клапаном на участке 2′ – 3′ (вместо трехходового), и одновременно с этим происходит балансировка клапаном БК6 (рис. 12).

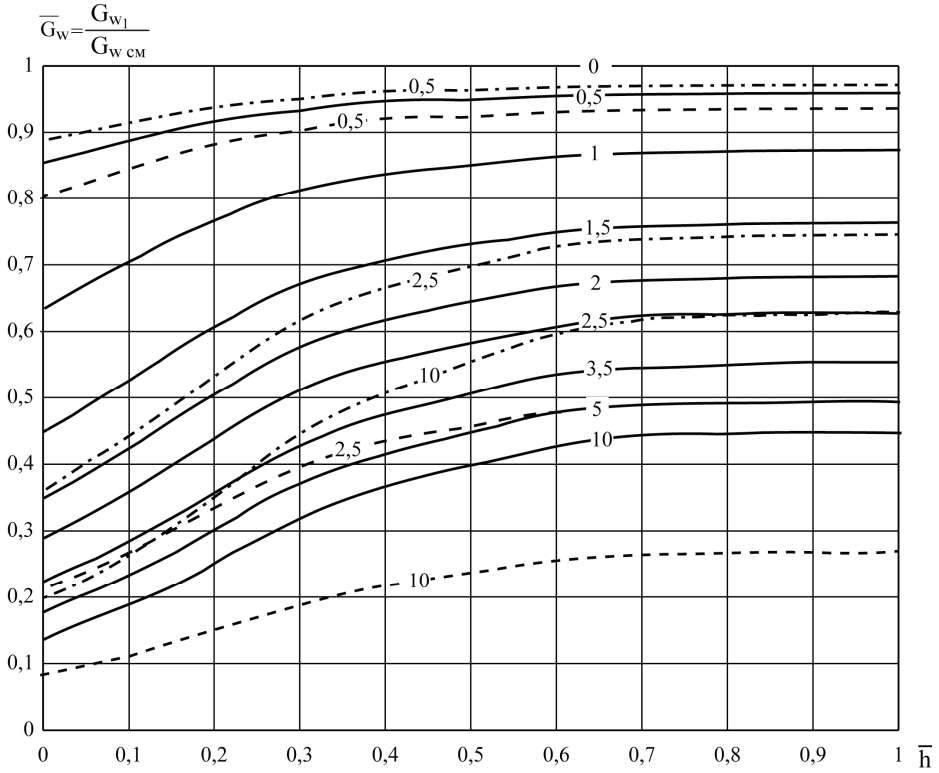


Рисунок 12. Балансировочно-регулировочная характеристика (БРХ) узла нагревания при разных значениях $\overline{p}$ =1, 3, 6, одновременном управлении проходным водяным клапаном и балансировке узла балансировочным клапаном БК6 на перемычке 3 – 3′: пунктир – $\overline{p}$ =1; сплошная – $\overline{p}$ =3; штрихпунктир – $\overline{p}$ =6

Из графика следует, что проходным клапаном можно управлять в гораздо более узком диапазоне расходов, чем трехходовым. Характеристики заметно сдвигаются при изменении относительного перепада давлений. Отмечается, что при таком управлении расход воды меняется очень сильно (почти в 8 раз), что, безусловно, влияет на эффективность процесса нагревания. В силу этих особенностей данная схема управления не рекомендуется к использованию.

Режим 4. В данном режиме моделируется БРХ при управлении трехходовым клапаном на перемычке 2 – 2′ и управлении (*шунтировании* воды) клапаном БК5 на перемычке 1 – 1′. На рис. 13 и 14 показано влияние перепуска воды балансировочным клапаном БК5 на работу трехходового клапана. Остальные клапаны зафиксированы в некоторых конкретных промежуточных положениях. Заметим здесь, что *шунтирование* как параллельный узлу перепуск воды предпочтительнее, чем дросселирование, когда одновременно меняются расход, сопротивление, а главное, КМС узла. В частности, изменение этого расхода требуется при пуско-наладочных работах и, возможно, при обслуживании системы и появлении достаточных колебаний перепада давления в сети теплоснабжения.

Как видно на характеристиках (рис. 13 и 14), за счет открытия клапана БК5 увеличивается расход обводимой горячей воды по перемычке 1 – 1′, что по законам гидравлики приводит к перераспределению потоков в узле 2. Это влияет на балансировочные характеристики трехходового клапана.

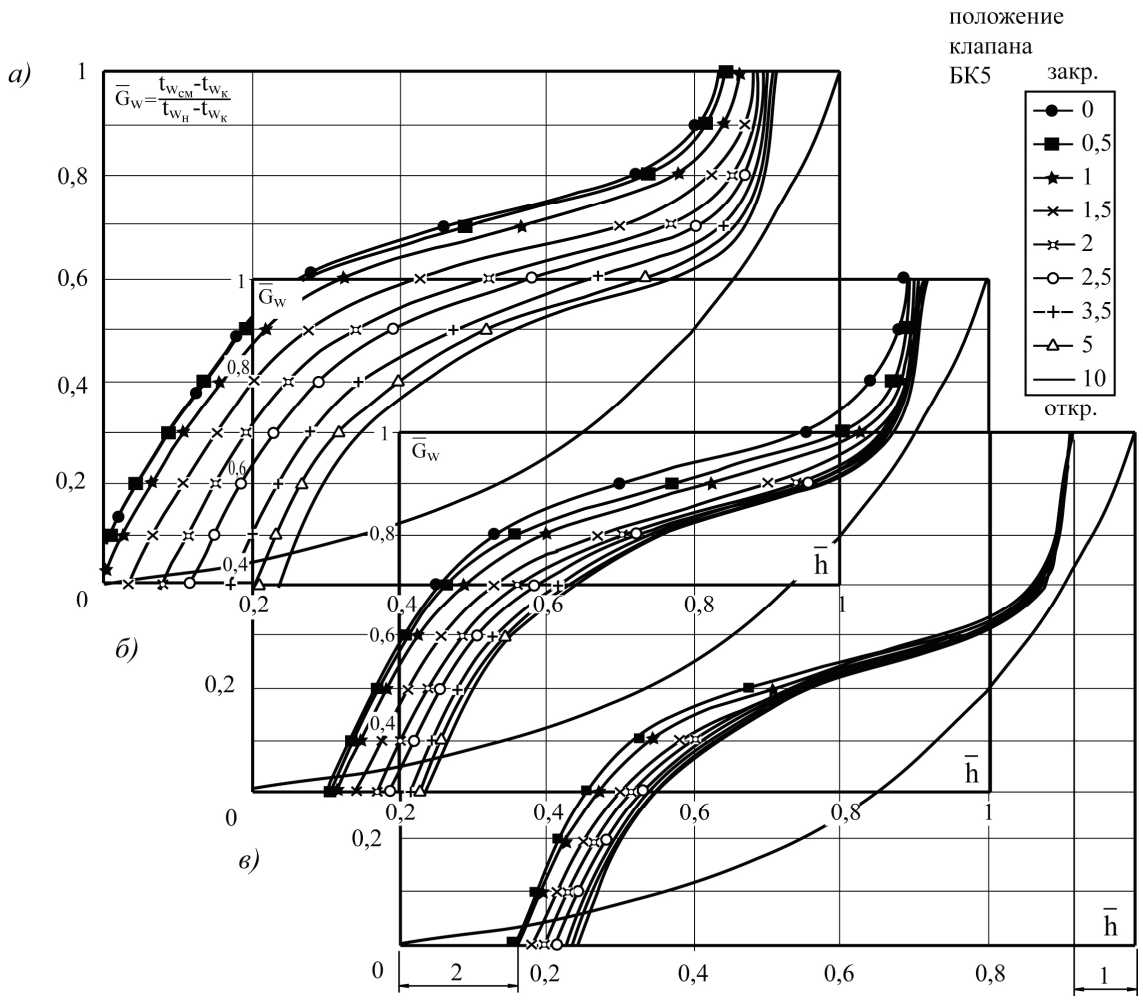


Рисунок 13. Балансировочно-регулировочная характеристика (БРХ) узла нагревания при разных значениях $\bar{p}$ =1, 3, 6, одновременном управлении трехходовым водяным клапаном и балансировке узла *шунтирующим* балансировочным клапаном БК5 на перемычке 1 – 1′:
1, 2 – режимы, где обнаружен эффект *запирания* потока (один поток не пускает другой);
***а* – при $\bar{p}$ =6; *б* – при $\bar{p}$ =3; *в* – при $\bar{p}$ =1**

На основе анализа полученных зависимостей для этого режима можно сделать такие выводы.

- Влияние балансировки на перемычке 1 – 1′ тем сильнее, чем выше относительный перепад давления в системе. При малых относительных перепадах давления $(\bar{p} < 3)$ регулирование перемычкой возможно только в небольших пределах. В таких случаях применять подобный метод является нецелесообразным. При больших же относительных перепадах давления в системе $(\bar{p} > 3)$, соответствующих высоким перепадам давления в сети теплоснабжения, подобное регулирование возможно в достаточно широких пределах, что делает вполне возможным использование этой перемычки для балансирования системы.

- При открытии балансировочного клапана БК5 (рис. 14) расход воды по перемычке постепенно увеличивается. При достаточно небольшом открытии клапана расход воды меняется значительно, далее (в данном примере – после 3,5 оборотов) расход воды меняется слабо. При открытии трехходового клапана увеличивается расход горячей воды, подаваемой в аппарат, и в связи с этим уменьшается расход горячей воды по перемычке 1 – 1′. Таким образом, суммарное потребление горячей воды из сети в процессе работы трехходового клапана (при открытии клапана БК5 на *n*=1,5 и более оборотов) остается примерно на одном уровне, в отличие от системы без перемычки 1 – 1′, где потребление горячей воды равно расходу горячей воды через аппарат. В целом, потребление горячей воды в рассматриваемом случае выше.

- Температура воды, возвращаемой в сеть, находится на уровне гораздо более высоком, чем при использовании схемы без перемычки 1 – 1′. При положении трехходового клапана вблизи закрытия на проход в систему теплоснабжения возвращается вода почти той же температуры, что и горячая, а при других положениях трехходового клапана обратная вода из аппарата смешивается с горячей водой в близких пропорциях, что также дает весьма высокий температурный уровень. Таким образом, при использовании воды от котельной эта схема является приемлемой, поскольку более высокая температура обратной воды приветствуется. В случае, когда вода поступает от ТЭЦ, данная схема нежелательна, поскольку при возвращении воды выше определенной температуры (t_{WK}>0,5t_{WH}) начисляется штраф.

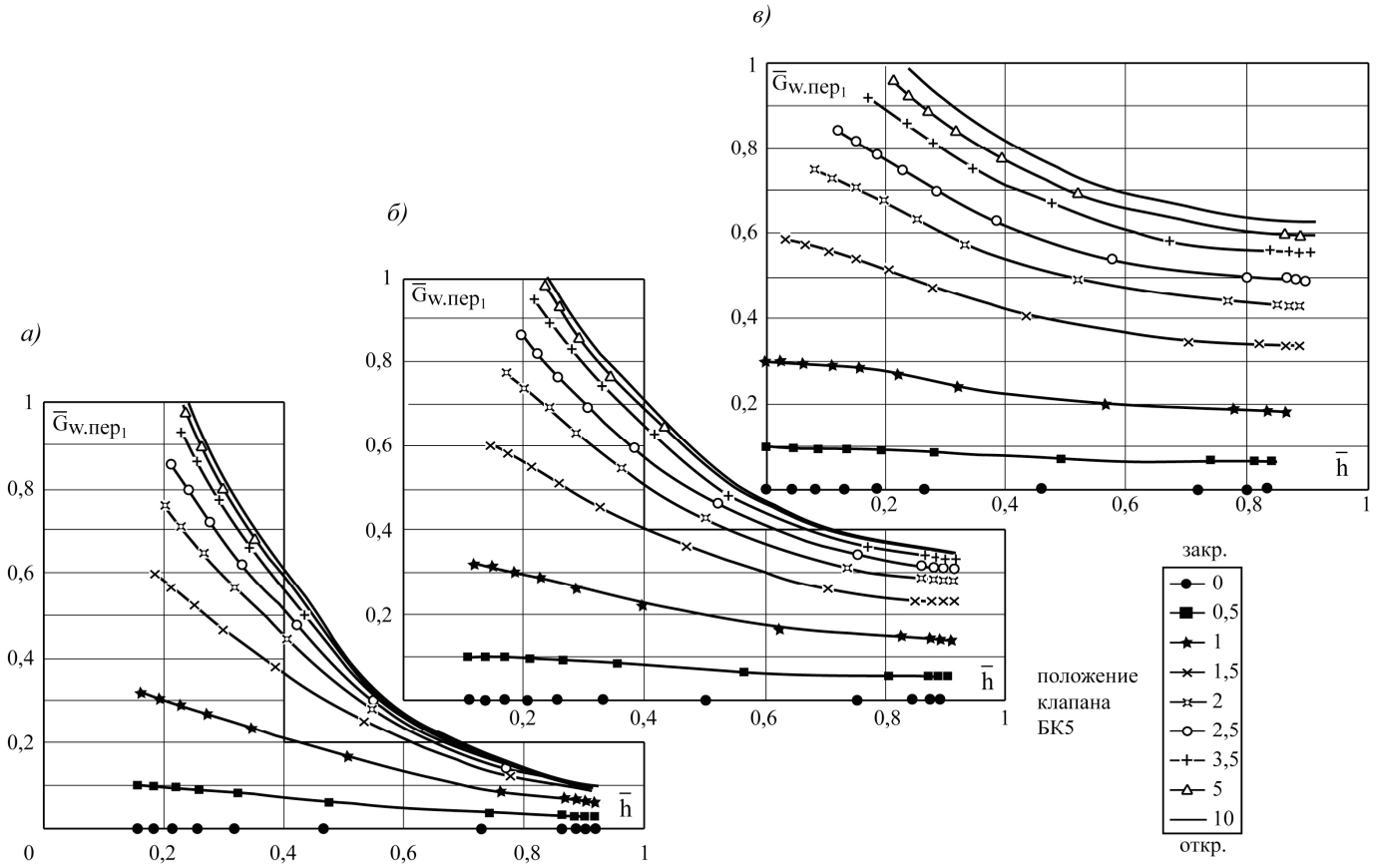


Рисунок 14. Балансировочно-регулировочная характеристика (БРХ) – зависимость относительного расхода воды $\bar{G}_{W пер1}$ при одновременном управлении трехходовым водяным клапаном и балансировке узла *шунтирующим* балансировочным клапаном БК5 на перемычке 1 – 1′; *а* – при $\bar{p}$ =1; *б* – при $\bar{p}$ =3; *в* – при $\bar{p}$ =6

Режим 5. Балансировочно-регулировочная характеристика узла нагревания (рис. 15) при управлении трехходовым клапаном и балансировке клапаном БК6 на перемычке 3 – 3′. Этой перемычкой пользуются, чтобы перепустить по ней часть охлажденной воды, тем самым уменьшить расход воды на подмешивание по основной перемычке 2 – 2′ и, главное, отодвинуть плунжер регулирующего клапана от положения, близкого к закрытию. В этом случае эффект смешения потоков в двух параллельных перемычках описывается зависимостью

$$\bar{G}_{W см} = \frac{t_{W см} - t_{W к}}{t_{W н} - t_{W к}} = \bar{G}_{W2}\bar{G}_{W3}, \qquad (8)$$

то есть общий коэффициент смешения равен произведению частных коэффициентов смешения в этих перемычках.

Кроме описанных возможны другие обвязки и режимы как объекты исследований. Они относятся к специальным решениям управления несколькими аппаратами при их последовательной установке по воздуху и последовательно-параллельной обвязке по воде. Такие схемы рекомендуют применять, если дневной и ночной режимы работы нагревателя существенно отличаются. Это имеет место в объектах, где в рабочее время имеют место теплоизбытки и нагревают наружный воздух, а в нерабочее – нагревают

рециркуляционный воздух в режиме воздушного отопления помещения. Пример таких схем и обвязок без использования насоса можно найти в [11, 19, 20], они показаны на рис. 16.

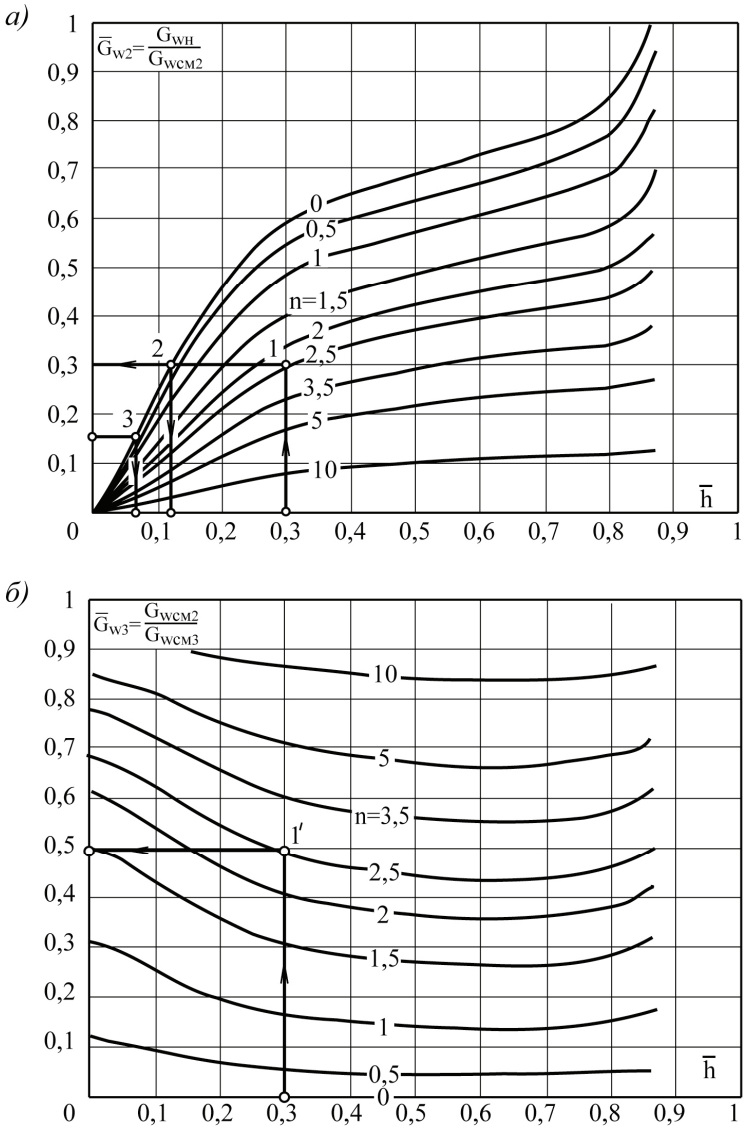


Рисунок 15. Балансировочно-регулировочная характеристика (БРХ) относительного расхода воды $\bar{G}_{W\text{пер}1}$ при одновременном управлении трехходовым водяным клапаном и балансировке узла *шунтирующим* балансировочным клапаном БК6 на перемычке 3 – 3′; *а* — зависимость изменения $\bar{G}_{W2}$; *б* — зависимость изменения $\bar{G}_{W3}$

Ключ: для нагревания воздуха в промежуточном режиме требуется обеспечить $\bar{G}_{W\text{см}} = 0,15,$ чему при закрытом клапане БК6 (точка 3) соответствует относительное положение плунжера $\bar{h} = 0,06$ (*h*=1,2 мм), что считаем опасным для возникновения автоколебаний в системе управления. Чтобы исключить это явление, приоткроем клапан БК6 на *n*=2,5 оборота, тогда для точки 1 получаем $\bar{G}_{W2} = 0,3,$ $\bar{h} = 0,3$ (*h*=6 мм), а на рис. 15,*б* в точке 1′ получаем $\bar{G}_{W3} = 0,5,$ в итоге произведение коэффициентов смешения $\bar{G}_{W2}\bar{G}_{W3} = 0,3 \cdot 0,5 = 0,15,$ то есть равно требуемому по условиям, а регулирующий клапан будет отодвинут от положения закрытия, что исключит автоколебания

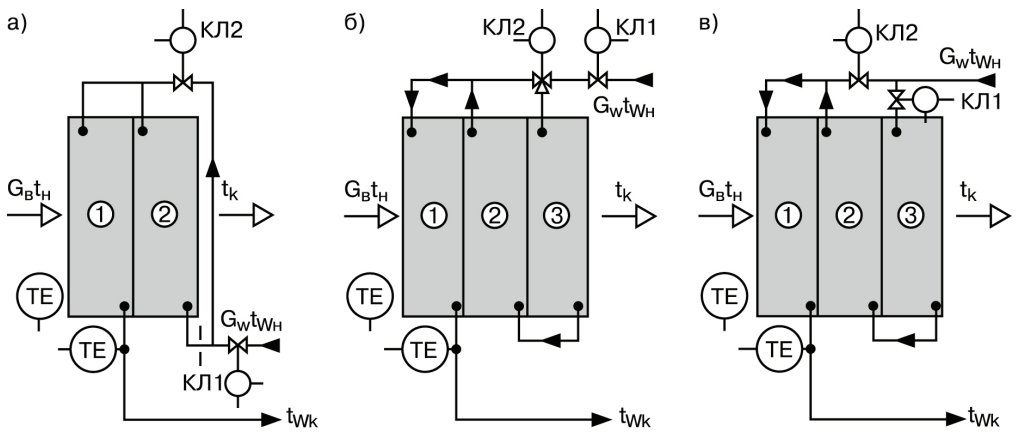


Рисунок 16. Сложные схемы обвязки и управления нескольких последовательно установленных по воздуху аппаратов: *а* – схема с управляемым обводом теплоносителя и двумя оппозитно управляемыми проходными клапанами; *б* – схема с двумя оппозитно управляемыми проходным и трехходовым клапанами; *в* – схема с двумя проходными оппозитно управляемыми клапанами на параллельных потоках

Общие выводы по результатам проведенных исследований.

1. Рассмотренные варианты балансировки и управления подсистемой нагревания и охлаждения-осушения, не рассмотренные в литературе, и полученные зависимости объясняют основные случаи гидравлической балансировки узлов на фоне управления ими.

2. Все характеристики представлены тремя видами: регулировочной, балансировочной и совмещенной БРХ. Отмечена аналогия с регулировочными характеристиками одиночного воздушного клапана, а также при смешении воздушных потоков оппозитной парой воздушных клапанов в центральных кондиционерах, несмотря на существенное различие их конструкций.

3. Математическая модель и методика обработки данных позволили выявить влияние основных факторов: числа перемычек, конкретных характеристик арматуры, относительного перепада давлений и др.

4. Полученные закономерности, описываемые как *запирание*, *шунтирование*, нелинейности и др. являются важными факторами, влияющими на работу регулируемой подсистемы, методику пуско-наладочных работ и эксплуатацию.

Литература:

1. Петитжен Р. Балансировка гидравлических контуров / Пер. со шведск. Швеция: TA Hydronics AB, 1999. 52 с.
2. Жадин С. И., Сенатов И. Г. Пути совершенствования воздухонагревателей СКВ / Обзорная информация. Выпуск 2. М. : ВНИИИС, 1985. 96 с.
3. Зингерман И. И. Исследование и основы расчета регулируемых воздухонагревателей СКВ и В : Автореферат диссертации. Л. : ЛИТЛП им. С.М.Кирова, 1975. 24 с.
4. Краснов Ю. С. Системы вентиляции и кондиционирования, рекомендации по проектированию, испытаниям и наладке. М. : Термокул, 2004. 373 с.
5. Лебедев Н. И. Гидравлическая увязка первичных и вторичных контуров в системах отопления и холодоснабжения // С. О. К. 2004. №12. URL: http://c-o-k.ru/showtext/?id=856&from=online&params=num%3D12 (дата обращения: 15.02.2010).
6. Минин В. Е. Поверхностные воздухонагреватели / СПбГУНиПТ. СПб., 2001. 128 с.
7. Михайлов С. А. Защита калориферов от замерзания // В кн.: Наладка и проектирование СПВ и КВ. М. : ЦБТИ, 1963. С. 68–79.
8. Пырков В. В. Особенности расчета систем отопления и охлаждения с регулирующими клапанами // С. О. К. №12. 2005. URL: http://c-o-k.ru/showtext/?id=1238&from=online&params=num%3D12 (дата обращения: 15.02.2010).
9. Пырков В. В. Гидравлическое регулирование систем отопления и охлаждения, теория и практика. Киев : Таки справы, 2010. 299 с.
10. СНиП 2.04.05-91*(2000). Отопление, вентиляция и кондиционирование. М. : 2000.
11. Сотников А. Г. Процессы, аппараты и системы кондиционирования воздуха и вентиляции. Т. 1. СПб. : AT-Publishing, 2006. 506 с.
12. Стрижонок О. Г. Качество автоматической защиты калориферов // Водоснабжение и санитарная техника. 1985. №1. С. 9–11.
13. Таранов П. С. Золотая книга руководителя. Ч. III. Социальные закономерности неясной природы. М. : Гранд, 1998. 478 с.
14. Фролов А. М. Предварительный выбор и преднастройка балансировочных вентилей // С. О. К. 2009. №12. URL: http://c-o-k.ru/showtext/?id=2399&from=online&params=num%3D12 дата обращения: 15.02.2010).
15. Хейфец Д. И. Регулирование теплопроизводительности калориферов СКВ // В кн.: КВ в промышленных и общественных зданиях. М. : Госстройиздат. 1962. С. 48–57.
16. Хейфец Д. И. Регулирование теплообменных аппаратов СКВ. Научное сообщение / Проектпромвентиляция, ЦБТИ. М., 1967. 32 с.
17. Щекин И. Р., Шмыгуль О. П. Регулировочные характеристики смесительных камер центральных кондиционеров // Сборник трудов ВНИИКондиционер. Вып. 6. Харьков , 1977. С. 18-25.
18. Junker B. Klimaregelung / Grundlagen Praxis der Projektierung. München. 1984. 239 p.
19. Грудзинский М. М., Ливчак В. И. Работа калориферных установок в системах круглогодичного кондиционирования // Водоснабжение и санитарная техника. 1971. № 7. С. 27–31.
20. Automatic control. Honeywell. SI Editor. Printed in USA. 1989. 412 p.

**Анатолий Геннадиевич Сотников, Санкт-Петербург, Россия*

Тел. моб.: +7(921)347-33-92; эл. почта: asotnikov2005@yandex.ru

О заимствовании материала В. М. Жгутовым из публикаций В. В. Карпова

Д.т.н., профессор В.В. Карпов*,
ГОУ Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Ключевые слова: оболочки; краевые условия; ползучесть материала; ребристые оболочки

В «Инженерно-строительном журнале» появились статьи Жгутова В.М., которые я считаю явным плагиатом моих научных работ.

Так, в статье [1] с некоторыми переобозначениями переписан материал книги [2] со стр. 84-92. При этом ссылок на эту работу не приводится.

Анализ краевых условий на боковой поверхности ребер приводится в работе [3]. Исходя из этого анализа получены соотношения для оболочек, подкрепленных узкими ребрами, когда место расположения ребер задается с помощью дельта-функций. В.М. Жгутов в своей статье приводит эти соотношения как свои и утверждает, что в моих работах эти соотношения взяты «интуитивно». Таким образом, он присваивает себе результаты, которые ему не принадлежат.

В работе [4] приводится функционал $Э_C$ (с. 19 этой работы), который соответствует учету ползучести материала. Этот функционал В.М. Жгутов взял из нашей неопубликованной в 2008 году работы, но взял его с ошибкой. Приведенное в статье В.М. Жгутова подынтегральное выражение не является потенциалом. Этот функционал в правильном виде опубликован в работе [5] на стр. 73.

Литература:

1. Жгутов В. М. Метод конструктивной анизотропии для ортотропных и изотропных ребристых оболочек // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 8. С. 40-46.
2. Карпов В. В. Математическое моделирование, алгоритмы исследования, модели, вычислительный эксперимент в теории оболочек / СПбГАСУ. СПб., 2006. 330 с.
3. Карпов В. В. Геометрически нелинейные задачи для пластин и оболочек и методы их решения. М. : изд-во АСВ, СПб. : СПбГАСУ, 1999. 154 с.
4. Жгутов В. М. Устойчивость ребристых оболочек при длительных нагрузках // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 5. С. 16-30.
5. Карпов В. В., Рябикова Т. В. Комплексный расчет элементов строительных конструкций в среде MATLAB / СПбГАСУ. СПб., 2009. 136 с.

**Владимир Васильевич Карпов, Санкт-Петербург, Россия*

Тел. моб.: +7 (911) 710-59-38; эл. почта: vvkarpov@lan.spbgasu.ru

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Инженерно-строительный факультет
Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29,
тел/факс: 552-94-60, www.stroikursi.spb.ru.
stroikursi@mail.ru

Приглашает специалистов проектных и строительных организаций,
не имеющих базового профильного высшего образования
на курсы профессиональной переподготовки (от 500 часов)
по направлению «Строительство» по программам:

П-01 «Строительство зданий и сооружений»

Программа включает учебные разделы:

- ***Основы строительного дела***
- ***Инженерное оборудование зданий и сооружений***
- ***Технология и контроль качества строительства***
- ***Основы проектирования зданий и сооружений***
- ***Автоматизация проектных работ с использованием AutoCAD***
- ***Автоматизация сметного дела в строительстве***
- ***Управление строительной организацией***
- ***Управление инвестиционно-строительными проектами. Выполнение функций заказчика-застройщика***

П-02 «Экономика и управление в строительстве»

Программа включает учебные разделы:

- ***Основы строительного дела***
- ***Инженерное оборудование зданий и сооружений***
- ***Технология и контроль качества строительства***
- ***Управление инвестиционно-строительными проектами. Выполнение функций заказчика-застройщика и генерального подрядчика***
- ***Управление строительной организацией***
- ***Экономика и ценообразование в строительстве***
- ***Управление строительной организацией***
- ***Организация, управление и планирование в строительстве***
- ***Автоматизация сметного дела в строительстве***

П-03 «Инженерные системы зданий и сооружений»

Программа включает учебные разделы:

- ***Основы механики жидкости и газа***
- ***Инженерное оборудование зданий и сооружений***
- ***Проектирование, монтаж и эксплуатация систем вентиляции и кондиционирования***
- ***Проектирование, монтаж и эксплуатация систем отопления и теплоснабжения***
- ***Проектирование, монтаж и эксплуатация систем водоснабжения и водоотведения***
- ***Автоматизация проектных работ с использованием AutoCAD***
- ***Электроснабжение и электрооборудование объектов***

П-04 «Проектирование и конструирование зданий и сооружений»

Программа включает учебные разделы:

- ***Основы сопротивления материалов и механики стержневых систем***
- ***Проектирование и расчет оснований и фундаментов зданий и сооружений***
- ***Проектирование и расчет железобетонных конструкций***
- ***Проектирование и расчет металлических конструкций***
- ***Проектирование зданий и сооружений с использованием AutoCAD***
- ***Расчет строительных конструкций с использованием SCAD Office***

П-05 «Контроль качества строительства»

Программа включает учебные разделы:

- ***Основы строительного дела***
- ***Инженерное оборудование зданий и сооружений***
- ***Технология и контроль качества строительства***
- ***Проектирование и расчет железобетонных конструкций***
- ***Проектирование и расчет металлических конструкций***
- ***Обследование строительных конструкций зданий и сооружений***
- ***Выполнение функций заказчика-застройщика и генерального подрядчика***

По окончании курса слушателю выдается диплом о профессиональной переподготовке государственного образца, дающий право на ведение профессиональной деятельности