

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (СИБСТРИН)**

ТРУДЫ НГАСУ

Т. 21, № 4 (70)

НОВОСИБИРСК 2018



НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (СИБСТРИН)

Перечень услуг:

- проектирование и расчет: строительных конструкций, оснований и фундаментов, зданий и сооружений любой сложности и назначения, дополнительных этажей и новых объемов, инженерных сетей, предприятий водоподготовки, водоотведения, пневматических ручных и навесных машин ударного действия на любые параметры;
- комплексные натурные исследования оснований, фундаментов, надземных несущих и ограждающих конструкций, разработка рабочей документации по реконструкции и обеспечению дальнейшей надежной и безопасной эксплуатации зданий и сооружений;
- разработка градостроительной документации (генеральных планов, проектов планировки, проектов застройки), выполнение проектов интерьеров зданий, предметной среды, ландшафтного дизайна;
- геодезические работы – съемку подземных, наземных и надземных сооружений, создание специальных геодезических сетей на строительной площадке, геодезический контроль точности выполнения строительных работ, определение осадок и кренов зданий и сооружений;
- разработка мероприятий и технической документации по улучшению акустических характеристик концертных залов, студий, общественных и офисных помещений;
- проведение экспертизы проектной и проектно-сметной документации, качества выполнения строительных работ;
- выявление новых возможностей предприятия в условиях конкуренции, разработка деловых (хозяйственных), экологических паспортов предприятий, бизнес-планов инвестиционных проектов;
- обследование предприятий на соответствие международным стандартам ИСО серии 9000, осуществление подготовки организаций к сертификации; проведение социологических исследований;
- разработка программного обеспечения для решения инженерных задач;
- консультации по вопросам ценообразования и сметного дела, совершенствования управления предприятием, залогового и ипотечного кредитования;
- обучение по всем видам деятельности юрисдикции Госстроя.

**630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113,
Новосибирский государственный архитектурно-строительный
университет (Сибстрин)
E-mail: dao@sibstrin.ru, ntio@sibstrin.ru
Internet: nauka.sibstrin.ru/trudy/
Телефоны: (383) 266-28-39, 266-25-27
Факс: (383) 266-40-94**

ТРУДЫ НГАСУ. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2018. – Т. 21, № 4 (70). – 156 с.

Редакционная коллегия

Главный редактор – д-р техн. наук, профессор, чл.-кор. РААСН Ю.Л. Сколубович

Заместитель главного редактора – д-р физ.-мат. наук, профессор В.Я. Рудяк

Заместители главного редактора по направлениям:

д-р техн. наук, профессор Л.В. Ильина,

д-р ист. наук, профессор Ю.И. Казанцев,

д-р техн. наук, профессор В.М. Митасов,

д-р физ.-мат. наук, профессор М.С. Соппа

Ученый секретарь: У.А. Апарина

Члены редколлегии:

д-р техн. наук, профессор В.В. Адищев,

д-р физ.-мат. наук, профессор С.М. Аульченко,

д-р физ.-мат. наук, профессор Ю.Е. Воскобойников,

д-р техн. наук, профессор Г.И. Гребенюк,

д-р техн. наук, профессор В.В. Дегтярёв,

д-р техн. наук, профессор В.Н. Зырянова,

д-р экон. наук, профессор Т.В. Федорович,

д-р техн. наук, профессор В.В. Молодин,

д-р физ.-мат. наук, профессор Ю.В. Немировский,

д-р ист. наук, доцент Л.К. Островский,

д-р ист. наук, профессор А.Г. Туманик

СОДЕРЖАНИЕ

АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО

Боровикова Н.В., Шульгина В.С.

Архитектурно-пространственное развитие
прибрежных территорий городов
Сибирского федерального округа 5

Завылёнков С.А., Булгач Р.В.

О взаимном расположении функциональных групп
многофункционального жилого здания 18

Ильина Л.В., Ризаев Б.Ш., Жураев Э.С.

Современные тенденции развития и анализ
эффективности использования легких бетонов 29

Кашин А.В., Лунев Ю.В., Морозов А.А.

Расчетное обоснование стадийности монтажа
на примере объекта «Стеклянная кора»
в природно-парковом комплексе «Зарядье»
в г. Москве 37

Назаренко Я.В., Молодин В.В.

Расчетное обоснование бетонирования колонны
на промороженной плите перекрытия 48

Чмир Ю.Э.

Современное состояние и перспективы развития
архитектурной бионики 61

МАТЕМАТИКА. ФИЗИКА. МЕХАНИКА

Аульченко С.М., Картаев Е.В., Емелькин В.А.

Экспериментальное и теоретическое исследование
синтеза субмикронных частиц диоксида кремния
в проточном плазмохимическом реакторе 69

Балчугов Д.В., Тихонова Д.В., Яковлева Е.И.

Возможные технологические схемы очистки
сточной жидкости города Болотное 81

Воскобойников Ю.Е.

Фильтрация аномальных измерений – какой алгоритм лучше? 88

Коробова О.А., Куклин В.В., Чернова С.А.,**Шевелёв Д.В., Григорьев Д.О.**

Сопоставление результатов теоретических исследований напряженно-деформированного состояния заглубленных и незаглубленных фундаментов 102

Сколубович Ю.Л., Краснова Т.А., Волков Д.Д.,**Пономаренко А.М., Войтов Е.Л., Петросян В.С.,****Пупырев Е.И., Гогина Е.С.**

Исследование очистки природных вод на угольных сорбентах 112

Сколубович Ю.Л., Краснова Т.А., Волков Д.Д.,**Пономаренко А.М., Войтов Е.Л., Петросян В.С.,****Пупырев Е.И., Гогина Е.С.**

Утилизация промывных вод водоподготовительных сооружений 117

Тамбовцев П.Н., Абраменков Э.А., Кудрявцев В.Г.,**Серебренников А.В.**

Исследование рабочего цикла гравитационного пневмомолота с клапанным воздухораспределением 124

ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ**Обозный Д.А.**

Влияние бюджетного финансирования на эффективность деятельности университетов ... 133

Фролова Е.В.

Реализация концепта «молчание» М. Метерлинка в дневниках М. Пришвина (1918–1919) 148

АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 721.01

АРХИТЕКТУРНО-ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАЗВИТИЕ ПРИБРЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ГОРОДОВ СИБИРСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА

Н.В. Боровикова^{*}, В.С. Шульгина^{}**

Данная статья посвящена архитектурно-пространственному развитию прибрежных территорий городов СФО (Сибирского федерального округа) с учетом специфики их формирования и современного состояния в контексте необходимости преобразований.

Ключевые слова: прибрежные территории, архитектурная среда, индустриальное наследие, архитектурно-пространственное развитие, стратегическое планирование.

Введение

История архитектуры и градостроительства тесно взаимосвязана с освоением речных артерий и формированием пространственного развития населенных мест с учетом использования прибрежных территорий. Это связано как с освоением богатых ресурсами территорий, так и с особенностями логистических взаимосвязей. Как таковые прибрежные территории представляют собой сложный объект,ключающий архитектурно-художественные, объемно-пространственные, экономические, экологические, социальные, общественные характеристики [1].

В действующей нормативной документации Российской Федерации нет дефиниции термина «**прибрежная территория**». Водный кодекс РФ определяет такие понятия как «**водоохранная зона**» – территория, примыкающая к береговой линии (границам водного объекта) морей, рек, ручьев, каналов, озер, водохранилищ и на которой устанавливается специальный режим

* Ст. преподаватель кафедры градостроительства и городского хозяйства, кафедры архитектуры и реконструкции городской среды НГАСУ (Сибстрин)

** Ст. преподаватель кафедры градостроительства и городского хозяйства НГАСУ (Сибстрин)

осуществления хозяйственной и иной деятельности; «**прибрежная защитная полоса**» – территория, устанавливающаяся в границах водоохраных зон, на которой вводятся дополнительные ограничения хозяйственной и иной деятельности.

Ширина водоохранной зоны рек или ручьев устанавливается в зависимости от их общей протяженности, и для рек протяженностью от их истока от 50 км и более ширина водоохранной зоны равна 200 м.

Ширина прибрежной защитной полосы устанавливается в зависимости от уклона берега водного объекта и составляет 30 м для обратного или нулевого уклона, 40 м для уклона до 3° и 50 м для уклона три и более градуса.

Кроме того, вдоль береговой линии водного объекта общего пользования выделяется полоса (для рек протяженностью от истока до устья более чем 10 км, равная 20 м) называемая бечевником и обеспечивающая свободный доступ всем гражданам к водному объекту [2].

В контексте данной статьи, при определении границ прибрежной территории, учитываются:

- водоохранная зона, определяемая водным кодексом РФ;
- зона возможного подтопления в границах города;
- пешеходная доступность и рельеф;
- историческое влияние реки на расселение.

В большинстве *крупных городов* Сибири прибрежные территории формировались как промышленные зоны с организацией фрагментов общественного назначения. Так, например, в Новосибирске, значительная часть прибрежной территории занята портовыми сооружениями, которые требуют значительной комплексной реконструкции. Фрагмент прибрежной территории (Михайловская набережная) находится сегодня в процессе преобразования, направленного больше на улучшение эстетического облика (путем замены покрытий, установки малых архитектурных форм, высадки зеленых насаждений) уже сложившейся планировочной структуры, без ее кардинального изменения (по-прежнему остается не проработанным вопрос композиционных и транспортных взаимосвязей (доступ) с планировочной структурой города) [3].

В средних и малых городах Сибири прибрежные территории зачастую сформированы под влиянием общего процесса индустриализации: интенсивные темпы развития индустриального каркаса расселения повлекли за собой освоение прибрежных территорий крупных сибирских рек как максимально доступного логистического пространства. Большинство таких территорий подчинены нуждам производственного характера: выходы к реке предприятий, формирование комплексов охладителей, доставка сырья, размещение коммунально-складских зон и др.

В условиях изменения социально-экономической ситуации и, как следствие, требований к формированию городских пространств, создания более комфортной городской среды, прибрежные территории, занимая значительную площадь, остаются как в крупных, так и в средних и малых городах, в состоянии, не отвечающем адекватно современным требованиям.

Этим определяется основная **актуальность исследования:** в необходимости комплексного архитектурно-пространственного развития прибрежных территорий городов СФО.

Особенности формирования, современное состояние и перспективы развития прибрежных территорий крупных городов СФО (Новосибирск, Барнаул, Томск)

Новосибирск. С 1897 года, после окончания строительства железнодорожного моста через р. Обь транссибирской магистрали, прибрежная территория Новосибирска активно застраивалась. В конце XIX – начале XX века Ново-Николаевск представлял из себя быстро и, как следствие, хаотично разрастающийся поселок: в приближении железнодорожного полотна развивалась промышленная функция, служащая на современном этапе серьезной проблемой при развитии прибрежной территории из-за отделения города от реки, перекрытия пешеходных связей вдоль Оби. По причине отсутствия генерального плана поселения в первые годы развития, прилегающая к промышленной территории жилая и общественная застройка формировалась без соблюдения регламентов и правил пожарной безопасности (за-

стройка того времени сохранилась на территории так называемых Большой и Малой Нахаловок) [4, 5].

Историческая хаотичная застройка в приближении к ул. Большевистской претерпела первые изменения в первой четверти XX века при строительстве водно-лыжной станции «Динамо», затем во второй половине XX в. при возведении подпорной стенки, организации прогулочной набережной и массового многоэтажного жилищного строительства. Последние изменения этой территории происходят на современном этапе, включая в себя новую полифункциональную застройку (жилые, общественные, рекреационные объекты) и реконструкцию существующей рекреационной территории [6].

Проблемой современного развития прибрежной территории Новосибирска является отсутствие взаимосвязи между вновь возводимыми объектами и сложившейся застройкой, отсутствие сформированных удобных выходов к воде, массовом жилищном строительстве вдоль реки без учета необходимости города в увеличении рекреационной функции прибрежной территории и возможных границ подтопления в период весенних паводков.

Потенциалом развития прибрежной территории Новосибирска являются: наличие свободных от застройки территорий левобережной части города, возможность реорганизации промышленной и малоэтажной жилой территории и активность населения в вопросах использования территории в приближении к реке.

Барнаул. Планировочное развитие Барнаула как горнозаводского поселка началось в середине XVIII в. в стороне от реки Обь выше по течению реки Барнаулка. Со временем жилые улицы протянулись вдоль Барнаулки в сторону Оби, образовывая прямоугольные кварталы малоэтажной деревянной застройки, которая в свою очередь во второй половине XIX в. частично сменилась на каменную, чему немало поспособствовали большие пожары 1864 г.

На протяжении всего XX в. прибрежная территория Барнаула претерпевала большие изменения: строительство двух

речных вокзалов (первого деревянного, на месте которого сейчас ничего нет и современного действующего речного вокзала), замена частного сектора местами двухэтажными бараками, которые в свою очередь частично уступили место серийной застройке второй половины XX в., частично современным многоэтажным жилым домам. Железнодорожная ветка, проложенная в начале XX в. от железнодорожной станции до речного причала, также, как и в Новосибирске, отрезала город от реки, но, в отличие от Новосибирска, на современном этапе полотно заброшено и не мешает освоению прибрежной территории. Нагорное кладбище, на котором были похоронены знатные граждане Барнаула, заменилось ВДНХ, а ВДНХ в свою очередь стала Нагорным парком культуры и отдыха [7, 8].

Современное состояние прибрежной территории Барнаула отражает все изменения, произошедшие в XX в., а также замену мало- и среднеэтажного строительства на современные жилые и административные комплексы повышенной этажности в приближении к историческому центру города, реконструкцию рекреационной территории за счет участия города в целевой программе «Развитие внутреннего и въездного туризма в Российской Федерации (2011–2018 годы)».

Таким образом, перспектива развития прибрежной территории Барнаула достигается за счет:

- наличия ветхой застройки на инвестиционно привлекательной территории;
- наличия свободной от застройки территории в приближении к береговой линии Оби;
- заинтересованности власти в обеспечении комфортной городской среды.

Томск. Имеет наиболее раннюю дату освоения из рассматриваемых крупных городов (1604 г.). Планировочное развитие города началось вблизи места падения р. Ушайка в р. Томь. В первые годы развития поселения прибрежная территория использовалась только в качестве пристани. Со временем деловой центр приблизился к устью р. Ушайка, и прибрежная террито-

рия стала наполняться жилой и общественной средой, преимущественно сооружениями торгового назначения (базар) и домами, совмещающими в себе жилую, торговую или производственную функции.

Современное состояние прибрежной территории южной части города (от Лагерного сада до р. Ушайка) местами отражает исторически сложившееся использование, иногда с сохранением объектов исторической среды: это непосредственно сам Лагерный сад (территория, ранее занимаемая военными гарнизонами), исторический район Татарская слобода (с характерной исторической застройкой в виде двухэтажных деревянных зданий с различными элементами деревянного декора).

Часть исторического центра, расположенная на прибрежной территории вблизи устья Ушайки (Гостинный двор), потеряла торговую функцию и застройку, сменив торговые ряды на административные здания советской постройки, а место первого причала сейчас входит в прогулочную набережную.

Исторический район Пески сохранил свою административно-жилую функцию, заменив при этом в конце XIX – начале XX в. первые деревянные постройки на каменные здания, формирующие в большей степени современную среду данной территории.

Исторический прибрежный район Заозерье в связи с частыми подтоплениями территории до начала XX в. (после осушения озера, строительства дамбы выше по течению Томи и развития пескодобывающей промышленности ежегодные весенние паводки уменьшились) достаточно часто подвергался преобразованию среды: застройка сменялась, увеличивалась этажность, менялись используемые материалы; и можно сказать, что на современном этапе данная территория наиболее разрознена с точки зрения единения средового пространства [9, 10].

Томская прибрежная территория имеет высокий потенциал развития за счет:

- исторической застройки, имеющей туристический потенциал;

- наличия пешеходных связей и открытых выходов в реке;
- отсутствия промышленной территории, препятствующей организации непрерывных связей вдоль прибрежной территории (в приближении к историческому центру города);
- отсутствия больших перепадов рельефа.

Особенности формирования, современное состояние и перспективы развития прибрежных территорий средних и малых городов СФО (Междуреченск, Лесосибирск, Усть-Илимск)

Междуреченск. Территориальное развитие города началось с устья р. Ольжерас, где возник крупный поселок геологов и шахтостроителей первой шахты Томусинской. В 1948 г. утверждается проект шахты Томусинская; в 1952 г. строятся мосты: автомобильно-железнодорожный через реку Уса и автомобильный через реку Томь. Статус города образование получает в 1955 г. Планировочные решения определяются разработанным генеральным планом с наличием кварталов регулярной планировки и организации доступа к реке – набережной на реке Уса. Прибрежная территория реки Томь, согласно решениям генерального плана, занимается коммунально-складскими территориями. На всем протяжении существования Междуреченска происходит деление территорий согласно функциональному назначению: город, расположенный между двух рек занимает одну прибрежную территорию общественной функцией, вторую – промышленной. Общая стилистика решений набережной, выполняющей общественную функцию, – «сталинский ампир». Это проявляется как в самом организационно-планировочном решении, так и в малых формах, элементах ограждений и коррелирует с общей стилистикой основного ядра города [11].

Современное состояние прибрежных территорий находится в специфичном состоянии: с одной стороны, есть сформировавшееся исторически общественное пространство, которое требует поддержания его состояния, современные планировочные решения генерального плана продолжают развитие этого пространства и дополняют его выходом в прибрежную территорию жилой функции (районы малоэтажной индивидуальной застрой-

ки); с другой стороны, прибрежная территория реки Томь сохраняет промышленное функциональное назначение, тем самым образовывая силуэтный ряд депрессивного характера, поэтому необходима реконструкция общего эстетического вида.

Лесосибирск. Территориальное развитие города началось в XVII в. с транзитного на пути от Красноярска к Енисейску, сформировавшегося в месте слияния Енисея и Ангары, поселения. В начале XX в. организация лесопромышленного производства (благодаря ценности пород хвойного леса) привела к формированию первого промышленного выхода к берегу реки Енисей. Во второй половине XX в., массовое освоение территории будущего Лесосибирска привело к формированию крупного лесопромышленного комплекса, расположившегося линейно на протяжении 30 км вдоль реки Енисей. Несколько предприятий, расположенных друг за другом, полностью отвечали требованиям технологии производства: сплав древесины по Ангаре и Енисею, первичная обработка, распил, формирование экспортной продукции. Помимо этого, в черте города появляется экстракционно-канифольный завод, архитектурные элементы которого значительно влияют на формирование индустриального ландшафта и, как следствие, индустриального силуэта панорамы города. Общественная функция реализуется через дублирующую прибрежную линию набережную, располагающуюся в отдалении от самой кромки воды [12].

Современное состояние прибрежных территорий представляет собой явно выраженный промышленный характер: доминанты портовых кранов, вытянутые фасадные ленты промышленных корпусов, протяженные ряды пиломатериала складских территорий. Все это переплетается с природным ландшафтом из хвойных насаждений, рельефом речного ландшафта (по противоположному берегу располагаются скалистые образования). Целесообразность преобразований прибрежных территорий города Лесосибирска очевидна, но противоречит общей концепции социально-экономического развития города: при наличии фондоооруженности и производственного потенциала территорий особо важным остается сохранение лесопромышленного

комплекса. В этой ситуации особые требования и исследования нужны для улучшения сложившегося архитектурно-индустриального облика с формированием комфортной городской среды, примыкающей к промышленным территориям.

Усть-Илимск. Территориальное развитие города началось во второй половине XX в., когда усиление индустриального каркаса расселения потребовало создания крупного лесопромышленного узла севернее Иркутска с организацией гидроэнергетического узла и, как следствие, создания водохранилища (что обусловлено технологией формирования ГЭС). Изначально определенные генеральным планом, разработанным в итоге студенческого конкурса, положения о сохранении природных ландшафтов внутри города (концепция «города-сада») отразились на формировании живописного характера прибрежных территорий. Частично прилегающая к территории ГЭС застройка складывается в привычном ключе индустриального ландшафта: типовые элементы фасадных решений, наличие индустриальных доминант, низкий показатель плотности застройки. Прибрежные территории остальной части города (выходящие на два берега) формируются в ключе сохранения природного ландшафта [13].

Современное состояние территорий показывает необходимость преобразований и формирования более гармоничного включения выходящей в прибрежную территорию застройки в природные ландшафты. Основной приоритет развития самого города направлен на совершенствование и усиление лесопромышленного комплекса, что обозначается в программах социально-экономического развития. Архитектурно-художественный облик прибрежных территорий остается задачей не первого ранга и отражается в проектах точечной организации прибрежных зон общественного функционального назначения (проект парковой зоны) [14].

Технологии и перспективы развития прибрежных территорий городов СФО

Одним из основных направлений современного архитектурно-пространственного развития прибрежных территорий, на основе международной практики, является КУПЗ – комплексное

управление прибрежными зонами, основная цель которого направлена на устойчивое развитие региона. К ведущим предпосылкам организации КУПЗ относятся: выгодное положение, мало осваиваемый ресурсный потенциал, нерациональное природопользование, накопленный потенциал территории региона, учет положительного опыта. КУПЗ последовательно осуществляется через реализацию трех этапов: инвентаризационного (составление оперативных баз данных по природным условиям и ресурсам, структуризация данных, разработка методологии и составление кадастров территорий; организационного (законодательное обеспечение, создание региональной организационной структуры реализации, разработка взаимоувязанных проектов охраны природы, разработка проектов использования природных ресурсов и социально-экономического развития, создание «пионерных» архитектурных проектов, направленных на преобразования среды); реализационного (реализация разработанных программ и проектов с возможной корректировкой).

Существуют и проблемы при организации, которые значительно корреспондируют как с мировыми тенденциями, так и с условиями технологий архитектурно-пространственного развития прибрежных территорий СФО. К правовым проблемам относят несовершенную законодательную базу и отсутствие от лаженно работающей системы поддержки развития. К социально-экономическим – отсутствие выверенных экономических стартовых условий у градообразующих предприятий, инвестиционную непривлекательность (в силу отсутствия архитектурно-планировочных взаимосвязей с городскими территориями), неразвитость инфраструктуры. К научным – отсутствие единой системы паспортизации территорий и упорядоченности принципов формирования и дальнейшего развития территорий (в большинстве случаев научные и практические действия, направленные на преобразование прибрежных территорий, формируют точечный подход и не учитывают общие тенденции и мероприятия). К экологическим – конфликт типов природопользования и загрязнение окружающей среды (в случае средних и малых городов Сибири – размещение промышленных

территорий в прибрежных зонах со значительной протяженностью и включенностью производственного процесса в природные ландшафты).

Заключение

В историческом развитии прибрежной территории крупных, средних и малых городов СФО можно проследить как некоторые общие тенденции, так и индивидуальные особенности. Индивидуальность обусловлена разными датами зарождения поселения и, как следствие, разными временными границами освоения прибрежной территории, отличием градообразующих факторов. Схожие климатические условия, хозяйственная деятельность, а также логистическая взаимосвязь, позволяют проследить аналогичные этапы развития прибрежной территории крупных городов СФО и схожесть сложившейся архитектурной среды.

Причинами отсутствия комплексного освоения прибрежной территории городов СФО служат:

- сложные геологические условия (заболоченность) и как следствие дорогостоящая инженерная подготовка территории;
- возможность подтопления территории;
- отсутствие заинтересованности застройщиков и городских властей в реализации социально-важных проектов в структуре прибрежной территории, использовании ее в качестве рекреационного кластера, обладающего средовым разнообразием, позволяющим длительную эксплуатацию и создание устойчивой полифункциональности в прибрежной зоне;
- исторически сложившаяся застройка, создающая чересполосицу в использовании и средовом восприятии прибрежной территории, требующая больших вложений для реорганизации.

С точки зрения формирования целостного решения архитектурно-пространственного развития [15] и в контексте комплексного управления прибрежными территориями, становятся значимыми:

- формирование и выравнивание композиционных осей, корреспондирующих с центральными частями ткани города, осуществляющими общественные функции, с целью создания

единого неразрывающегося функционального пространства и реорганизации пешеходных путей («прогулочного» доступа);

– сохранение и преобразование «зеленого» (экологического) каркаса города, с включением специфичных для прибрежных территорий ландшафтов, с сохранением (частично) существующих насаждений;

– использование индустриальных ландшафтов в общей панораме города как усиления силуэтного профиля;

– использование геопластики и прочих средств формирования природного живописного рельефа в черте города с целью создания парково-прогулочных зон;

– возможное дублирование основных прогулочных трасс с целью организации закрытого и более комфортного пешеходного пространства (учет климатических факторов Сибирского региона: ветра, влажностные режимы, осадки и др.);

– формирование единого фасадного решения крупных панорамных участков в черте города;

– индивидуальный подход при определении эстетических качеств используемых при реконструкции материалов, создании малых архитектурных форм.

Список литературы

1. Глазычев, В. Л. Городская среда. Технология развития: настольная книга [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.glazychev.ru/books/gorodskaya_sreda/gorodskaya_sreda.htm
2. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 № 74-ФЗ [Электронный ресурс] : изм. на 03.08.2018 // КонсультантПлюс. ВерсияПроф. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_60683/
3. Вольская, Л. Н. Архитектурно-градостроительное наследие Сибири. – Новосибирск : НГАХА, 2008. – 240 с.
4. Баландин, С. Н. Новосибирск. История градостроительства 1893–1945 гг. – Новосибирск : Западно-Сибирское кн. издво, 1978. – 201 с.
5. Новосибирск. 100 лет. События. Люди: 1893–1993 / отв. ред. Л. М. Горюшкин. – Новосибирск : Наука, 1993. – С. 5–16, 472.

6. *Баландин, С. Н.* Новосибирск. История градостроительства 1945–1985 гг. – Новосибирск : Западно-Сибирское кн. изд-во, 1986. – 155 с.
7. *Барнаул.* Летопись города – хронология, события, факты / ред. В. А. Скубневский. – Барнаул : А.Р.Т., 2007. – 628 с.
8. *Барнаул : энциклопедия* / ред. В. А. Скубневский. – Барнаул : Изд-во Алт. гос. ун-та, 2000. – 408 с.
9. *Карелин, Д. В., Шульгина, В. С.* Функциональная организация прибрежной территории Западно-Сибирских городов. Исторический аспект // Вестник Томского гос. архитектур.-строит. ун-та. – 2018. – Т. 20, № 1. – С. 74–81.
10. *История названия томских улиц* / отв. ред. Г. Н. Старикова. – Томск : Водолей, 1998. – С. 13.
11. *Генеральный план г. Междуреченска [Электронный ресурс].* — Т. I : Пояснительная записка. – Новосибирск, 2007. – Режим доступа: <http://www.mrech.ru/infrastructure/architecture/gen-plan>
12. *Генеральный план г. Лесосибирска [Электронный ресурс].* – Т. I : Пояснительная записка. – Красноярск, 2008. – Режим доступа: <http://lesosibirsk.krskstate.ru/page5341/> page5342
13. *Генеральный план г. Усть-Илимска на период по 2020 год [Электронный ресурс].* – Красноярск, 2011. – Режим доступа: <http://www.ust-ilimsk.ru/gorozhanam/gradostroitelstvo/generalnyj-plan-goroda>
14. *Боровикова, Н. В., Карелин, Д. В.* Влияние архитектурно-планировочных особенностей на формирование архитектурной среды средних промышленных городов Сибири // Приволжский научный журнал. – 2017. – № 2 (46). – С. 129–135.
15. *Беккер, А. Ю., Щенков, А. С.* Современная городская среда и архитектурное наследие: эстетический аспект. – Москва : Стройиздат, 1986. – 204 с.

О ВЗАИМНОМ РАСПОЛОЖЕНИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ГРУПП МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ЖИЛОГО ЗДАНИЯ

С.А. Завылёнков^{*}, Р.В. Булгач^{**}

Исследуя многофункциональность в городских жилых зданиях, невозможно обойти стороной связи между функциями. Рассматривая три функциональные группы помещений, особенное внимание стоит уделять трем сочетаниям: жилье – место приложения труда; жилье – сервисный блок; сервисный блок – место приложения труда. В данной работе описаны типы взаимодействия помещений разных функциональных групп, определены типы помещений для каждой функциональной группы и предполагаемые сценарии использования многофункциональных жилых зданий потребителями. Для лучшего понимания определены два параметра связей: взаимное расположение функциональных групп (параллельное и дисперсное) и тип связи (непосредственная, через помещения общего пользования, через другую функциональную группу и через открытые пространства).

Ключевые слова: офисно-жилая структура, интеграция, типология зданий, многофункциональные жилые комплексы.

Введение

Многофункциональные жилые здания занимают актуальную нишу в общей типологии городского жилища современного мегаполиса. Они являются ответом на постоянно растущие требования горожан к качеству среды обитания, расширению многообразия сферы услуг непосредственно в структуре жилого здания. Расширению функциональной палитры жилого здания также способствуют современные продвинутые технологии в сфере пожарной безопасности и эвакуации, систем навигации в пространстве, инженерного оборудования, применения экологичных строительных материалов и т.д. Это позволяет создавать

* Аспирант кафедры архитектурного проектирования зданий и сооружений НГАСУ (Сибстрин)

** Канд. архитектуры, доцент кафедры архитектурного проектирования зданий и сооружений НГАСУ (Сибстрин)

разнообразные сочетания функциональных групп для различных потребителей многофункциональных жилых зданий.

1. Постановка задачи

Обобщенно можно выделить три типа связи между разными функциями в жилом здании: жилье – место приложения труда; жилье – сервисный блок; сервисный блок – место приложения труда. Их реализация зависит от требований изоляции/доступности, комфортности и индивидуальных особенностей помещений каждой функциональной группы. Кроме того, необходимо описать связь помещений внутри каждой функции здания. Это может быть связь внутри группы помещений одинакового назначения или связь двух таких групп, разнесенных в пространстве здания.

Планировочные решения, обеспечивающие связь помещений разной функциональной группы внутри одного здания, должны соответствовать следующим требованиям [1, 2]:

1. Дифференциация помещений, организация группы помещений с учетом их специализации и необходимых связей между ними.

2. Эргономико-технологическая целесообразность, т.е. грамотная и удобная организация пространства, сокращение затрат времени, энергии при реализации технологических процессов в здании.

3. Гармонизация пространства. Пространство, созданное для человека, должно быть комфортным, иметь интересный художественный образ.

Основные задачи исследования:

- описание типов взаимодействия помещений разных функциональных групп в многофункциональных зданиях;
- определение типов помещений внутри функциональной группы;
- составление предполагаемых сценариев использования жилых и общественных помещений многофункционального жилого здания для каждого типа помещения;

- анализ приоритетных типов взаимодействия жилой и общественной функций в зависимости от сценария использования.

Актуальность темы. Развитие строительных и информационных технологий в современности позволяет реализовывать здания и комплексы самой разнообразной функциональной структуры. Уплотнение городской застройки приводит к сближению и взаимопроникновению функций, ранее не смешивавшихся в городском пространстве. Для современного постиндустриального города принцип жесткого функционального зонирования перестал быть актуальным. Стремительно увеличивается количество видов труда и профессий, возможных и желательных для конвергенции и синергии с жильем. Совместно с естественным процессом объединения помещений прослеживается тенденция зарождения новых типов организации жилища. Существует необходимость в анализе коммуникационных узлов и возможности связи помещений разных функциональных групп.

Цель исследования

Разработка способов планировочных приемов эффективного функционально-планировочного и объемно-пространственного взаимодействия функциональных групп внутри многофункционального жилого здания с учетом интеграции жилища с производственными и социально-культурно-бытовыми функциями, как местами приложения труда в здании.

Научная новизна

Выявлены наиболее целесообразные функционально-планировочные и объемно-пространственные варианты организации мест приложения труда с жилыми ячейками, а также их расположение между собой в составе здания (комплекса).

Разработаны варианты схем архитектурно-композиционного и объемно-пространственного решения многофункционального здания с интегрированными в жилище местами приложения труда.

2. Результаты

Отметим что принципы, схемы и типы связей имеют общую основу. Принципиально можно выделить две схемы зонирования функциональных групп в здании: параллельная и комбинированная [3].

1. Параллельная схема зонирования характеризуется вертикальным, горизонтальным или смешанным, вертикально-горизонтальным, расположением функций и связь между ними осуществляется либо через помещения общего пользования, либо через открытые городские пространства. Кроме того, можно предположить увеличение паттернов деятельности пользователя многофункционального комплекса за счет многообразия общественных помещений и увеличения количества целевых потребителей жилых пространств. Здесь, с одной стороны, действует принцип, ограничивающий мобильность работника, проживающего в этом жилом здании постоянно, но, с другой стороны, это позволяет в условиях переуплотненной застройки создавать пространства, меняющие в течении суток функциональное назначение (в рабочие часы – это офисные помещения, после окончания рабочего времени – блок сервисного обслуживания, в вечернее и ночное время – жилье). Так, при открытой системе обслуживания и параллельной схеме зонирования возможно достичь максимальной эффективности площади застройки, увеличивая вариативность функций жилого здания.

2. Комбинированная схема зонирования характеризуется размещением общественных пространств здания совместно с жилыми, что влечет за собой минимизацию требований к офисным помещениям, возможное уменьшение комфортности и сокращение типов жилых помещений. Рассматривая место приложение труда как доминирующую функцию, мы приходим к выводу, что тип жилых помещений должен соответствовать (по критерию времени использования) характеру трудовой деятельности. Для примера рассмотрим три модели сочетания развитой деловой функции и жилого помещения при них. Существует множество вариантов продолжительности трудовой деятельности. Проанализируем три типа жилых помещений по вре-

мени пребывания согласно существующим примерам организации трудовой деятельности.

Первая модель жилого пространства – это блокированные офисно-жилые пространства, присущие командированным или самозанятым работникам, рассчитаные для кратковременной аренды.

Вторая модель жилого пространства – помещения, находящиеся в постоянной собственности, разделенные на собственно жилой блок и блок производственной или творческой деятельности.

Третья модель жилого пространства – помещения, взятые в долгосрочную аренду, с гибко организованными трансформирующими зонами жилья и производственно-творческой деятельности, исключающими возможность капитальной перестройки.

Второй и третий тип жилых пространств следует считать максимально удобным для мелкого и среднего предпринимательства, семейного бизнеса, различных видов творческой деятельности. Предполагается наличие мастерских, студий и прочих рабочих пространств, непосредственно совмещенных с жилищем при условии гибкости планировочного решения и возможности его трансформации. Аренда помещений для стартапов молодых предпринимателей более доступна по цене, чем покупка недвижимости в постоянную собственность. Это показывает опыт стран с демократической рыночной экономикой (Западная Европа, США, Канада и т.д.), где рынок арендного жилья является самым доступным методом организации своего дела. Поэтому развитие рынка арендуемого жилья в России является одним из существенных стимулов для формирования среднего класса [4, 5].

Предпринимательская деятельность, связанная с мелким производством (легкая, пищевая промышленность), требует экологической, противопожарной и функционально-планировочной изоляции. Исключением могут быть виды научной и художественной деятельности при наличии мастерских.

С другой стороны, при уменьшении комфортности жилья и уменьшении срока проживания, возможно размещение в общественно-деловой части здания более широкого диапазона видов деятельности, рассматривая жилые помещения с точки зрения обслуживания работающих.

Описанные схемы взаимного расположения функций масштабируются вместе с рассматриваемым зданием, комплексом или частью здания.

Можно выделить четыре типа взаимодействия функциональных групп: 1) непосредственная связь; 2) связь через помещения общего пользования; 3) связь через помещения другой функциональной группы; 4) связь через открытые пространства внутри жилого комплекса.

1. Непосредственная связь

Помещения или зоны различного назначения полностью располагаются в одном пространстве, без стен и перегородок. Приоритетная цель такой связи – обеспечить предельную компактность и рациональное использование. В рамках этого единого пространства реализуются многие планировочные приемы: кухня/столовая, ванная комната и спальные пространства и смежное рабочее пространство, в случае с общественными помещениями – концепция открытого офиса и залы различного назначения. Такая многофункциональность помещений характеризуется гибкостью и постоянной возможностью перепланировки. Зачастую трансформация помещения и изменение его функций может быть заложена в проект изначально, обеспечивая удовлетворение потребностей в текущий момент времени. Например, кухонная и гостиная зоны в квартире-студии масштабируются в зависимости от времени дня и количества гостей, а выставочные залы подстраиваются под экспозицию или другие общественные события.

Такие помещения устраиваются, как правило, либо в одном уровне с высоким потолком с немногими перегородками, либо в два уровня с полной высотой рабочего пространства с антресолями и площадками. В некоторых случаях, при невозможности размещения функций в одном пространстве, допускается

разграничение его на отдельные помещения: например, применением залной планировочной структуры. Основной принцип помещений с непосредственной связью – доступность всех размещенных в них функций единовременно [6].

2. Связь через помещение общего пользования

Такой жилой блок предполагает разделение функций коммуникационными и общественными пространствами [7]. Форма связи через помещения общего пользования может изменяться. В качестве помещений, обеспечивающих связь, могут использоваться как вертикальные, так и горизонтальные коммуникации. Степень изолированности помещений зависит от санитарно-гигиенических требований к помещениям и потребностей жильцов или работников в приватности. Кроме того, места общего пользования служат инструментом разделения людских потоков и буферной зоной, компенсирующей пиковые нагрузки. Общественные пространства обеспечивают возможность организации нескольких независимых входов с разным режимом функционирования. Это позволяет сочетать в непосредственной близости разнородные функциональные группы [8].

Под коммуникационными помещениями и местами общего пользования понимаются: коридоры, вестибюли, лестницы, холлы и т.д. Коридорная планировочная система очень хорошо описывает такого рода связь. Объединение нескольких функций увеличивает комфортность их использования, но требует принятия мер и планировочных решений, обеспечивающих потребность в изоляции.

По сравнению с идеей непосредственной связи функциональных помещений, коммуникации и помещения общего пользования необходимы для обеспечения эвакуации и значительно лучше обеспечивают возможность транзитных путей, что позволяет соединять между собой большее число помещений разных функциональных групп.

Функциональные блоки, связанные через коммуникации и места общего пользования, имеют другой характер гибкости, чем функциональные блоки с непосредственной связью. Их гибкость проявляется в том, что жилая часть блока расположена

отдельно от рабочей части. Два планировочных блока функционируют независимо друг от друга, но уменьшают свои площади в пользу коммуникаций и общественных пространств.

3. Связь через другую функциональную группу

Компромиссом между связью через помещения общего пользования и непосредственной связью функциональных пространств является организация доступа через третью функциональную группу помещений. Организуя пространство таким образом, что одна функциональная группа обеспечивает связь двух других, мы добиваемся необходимой степени изолированности, но при этом не теряем полезные площади на коммуникационные узлы [9]. Такая организация требует «тонкой настройки». Необходимо подобрать функцию помещений, обеспечивающих связь, исходя из следующих условий: 1) функция должна быть востребована для всех связываемых функциональных групп; 2) необходимая пропускная способность этих помещений должна быть соразмерна с ожидаемым числом транзитных посетителей. Зачастую в качестве помещений-связей выступают помещения обслуживания.

4. Связь через открытые пространства

В этой конфигурации помещения отделяются открытыми дворовыми или городскими пространствами [10, 11]. На первый взгляд может показаться, что помещения, разделенные двором или улицей, не могут являться частью одного многофункционального комплекса, но при дальнейшем рассмотрении становится очевидно, что параметры функциональных групп зависят в первую очередь не от их расположения, а от предполагаемого портрета потребителя. Например, магазин, расположенный во дворе жилого дома, отделен от жилых помещений в первую очередь из соображения санитарно-гигиенических требований и предназначен преимущественно для жильцов дома. Функциональный блок, содержащий в себе открытые пространства имеет много преимуществ по сравнению с другими связями во всех случаях, когда на улице хорошая погода. Такой связью возможно соединить помещения самой разнообразной направленности, сохранив при этом возможность изменения их с течением вре-

мени и избежав ограничений связанных с соседством. Такая связь наиболее разнообразна и проста в исполнении с точки зрения технических средств. Основной недостаток такой связи – это сложность поддержания единой структуры многофункционального здания.

Комбинаторика функций в многофункциональном жилом здании может быть самой разнообразной в зависимости от специфики потребностей жильцов, степени развитости социально-культурно-бытовой инфраструктуры квартала или жилого района, а, главное, подобный тип жилого здания предоставляет широкий спектр возможностей для профессиональной или любительской деятельности в рамках малого или среднего предпринимательства и различных видов творческой деятельности. Организация связей – основополагающий элемент в многофункциональных зданиях. Для лучшего понимания определены два параметра связей: взаимное расположение функциональных групп (параллельное и дисперсное) и тип связи (непосредственная, через помещения общего пользования, через другую функциональную группу и через открытые пространства).

Заключение

В данной статье проделана следующая работа:

- опираясь на требования к планировочным решениям, обеспечивающим связь функциональных групп, описаны типы их взаимодействия;
- определены типы помещений внутри функциональных групп;
- выявлены модели помещений функциональных групп исходя из сценариев их совместного использования;
- выявлены приоритетные типы взаимодействия функциональных групп.

Рассмотрев планировочные решения, обеспечивающие взаимосвязь функциональных групп, мы приходим к выводу, что многофункциональность зданий определяет не наличие функций в одном геометрическом пространстве, а их совместная работа. В первую очередь развитие многофункциональных зданий зависит от развития технологий и методов организации

коммуникационных узлов и общественных пространств, обеспечивающих связь функциональных групп.

Использование разработок

Полученные данные можно использовать в качестве отправной точки при проектировании связей в многофункциональных жилых зданиях. Основные трудности, возникающие при проектировании многофункциональных жилых зданий, можно избежать правильно подобрав коммуникационные узлы, соответственно типам функциональных групп. Полученные данные так же поднимают новые вопросы для исследования. Для дальнейших разработок в области типологии многофункциональных зданий необходимо проработать вопросы востребованности и необходимости связей разных функциональных групп, санитарно-гигиенических параметров, пожарной безопасности.

Список литературы

1. Скоблитская, Ю. А. Функционально-пространственная организация обслуживания в структуре многоэтажных жилых комплексов // Архитектура и строительство России. – 2011. – № 9. – С. 2–11
2. Кожобаев, С. Т. Характеристика объемно-планировочных параметров жилого образования на современном этапе развития архитектуры жилища (на примере г. Бишкек) // Вестник КГУСТА. – 2016. – № 1 (51). – С. 228–233.
3. Чернышева, И. В. Типология размещения общественных функций в жилых зданиях повышенной этажности // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Архитектура и дизайн : сб. статей. – Самара : Изд-во Самар. гос. техн. ун-та, 2015. – С. 151–156.
4. Березникова, О. С. Влияние принципов коллективного жилья Ле Корбюзье на мировую архитектурную практику (на примере «марсельской жилой единицы») // Евразийский союз ученых. – 2015. – № 4–9 (13). – С. 154–155.
5. Крюков, А. Р. Многофункциональные комплексы переменной этажности в индустриальной строительной системе па-

- нельно-каркасного домостроения // Жилищное строительство. – 2014. – № 5. – С. 36–40.
6. *Лихачева, А. Ю.* Лофт как стиль современной архитектуры // Поколение будущего: взгляд молодых ученых – 2014 : докл. 3-й Междунар. молодежной науч. конф. – Курск, 2014. – Т. 2. – С. 181–183.
 7. *Першина, И. А., Кан, А. Ю.* Структура доходных жилых комплексов с обслуживанием // Будущее науки–2013 : сб. статей междунар. конф. – Курск, 2013. – Т. 2. – С. 166–169.
 8. *Бычкова, А. А., Доронина, Д. Д.* Планировочная организация многофункционального жилого комплекса // сб. трудов междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова. – Белгород, 2015. – С. 1663–1668.
 9. *Григорьев, А. Н.* Организационно-экономические механизмы формирования сервисных комплексов для различных типов офисных и жилых зданий (на примере г. Москвы) : автореф. дис. ... канд. арх. – Москва, 2010. – 33 с.
 10. *Закиров, Р. С. Воронцова, А. В.* Формы, виды и факторы развития территорий и пространств со смешанным функциональным использованием // Известия Казанского гос. архитектур.-строит. ун-та. – Казань, 2016. – № 1 (35). – С. 74–80.
 11. *Бабушкина, Л. В.* Формирование комфортных условий проживания на территориях жилой застройки средствами архитектурного благоустройства (на примере г. Екатеринбурга) // Архитектон: известия вузов. – № 34. – Приложение. Июль. 2011.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ И АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ

Л.В. Ильина^{*}, Б.Ш. Ризаев^{}, Э.С. Жураев^{***}**

В данной статье освещены вопросы эффективности использования легких бетонов на пористых заполнителях и перспективность разработки составов высокопрочных легких бетонов с высоким показателем удельной прочности, которые найдут применение при изготовлении изделий в гражданском и промышленном строительстве, монолитном строительстве, при возведении сооружений специального назначения.

Ключевые слова: легкий бетон, пористость, прочность, заполнитель, деформативность.

Введение

В настоящее время одной из самых актуальных проблем строительства является разработка рентабельных строительных материалов, которые по своим техническим характеристикам смогут превосходить уже существующие [1, 2]. Важным направлением технического прогресса в строительстве является снижение массы возводимых объектов за счет производства и применения эффективных строительных материалов, к которым следуют отнести пористые заполнители и легкие бетоны на их основе [3].

Актуальность

Сегодня экономия энергоносителей рассматривается многими развитыми странами как важнейшая национальная экологическая и экономическая проблема. Уровень потребления энер-

^{*} Д-р техн. наук, профессор кафедры строительных материалов, стандартизации и сертификации НГАСУ (Сибстрин)

^{**} Канд. техн. наук, доцент Наманганского инженерно-строительного института, Узбекистан

^{***} Магистрант Наманганского инженерно-строительного института, Узбекистан

гии в строительном секторе достаточно высок. Результаты многочисленных исследований, посвященных изучению проблем энергосбережения, показывают, что наибольшее количество энергии тратится на отопление, горячее водоснабжение, покрытие потерь при транспортировке энергии, охлаждение воздуха в системах кондиционирования, искусственное освещение.

Эта проблема приводит к поискам эффективных технических решений, обеспечивающих повышение уровня тепловой защиты зданий и сокращение расходов на их эксплуатацию, в том числе и к разработке новых видов легких бетонов. Использование легких бетонов позволяет снизить массу изделий и конструкций зданий до 35 %, расход стали на 20 %, а цемента на 10 %. При этом увеличиваются размеры конструкций и пролеты зданий и сооружений, улучшаются теплотехнические и акустические характеристики, повышается сопротивляемость динамическим и сейсмическим воздействиям.

Анализ эффективности применения легких бетонов

Как правило, применение легких бетонов из-за невысокой прочности ограничивается строительством слабонесущих и ограждающих конструкций. Однако, сочетание низкой плотности, характерной для легких бетонов, и высокой прочности, присущей высокопрочным бетонам, позволяет значительно расширить область применения легких бетонов.

В последние десятилетия проведено большое количество исследований по подбору состава, разработке технологических параметров получения, теории прочности, физико-технических свойств и долговечности легких бетонов на пористых заполнителях. Среди этих исследований доминирующее место занимают работы И.Н. Ахвердова, А.А. Аракеляна, Г.А. Бужевича, А.И. Ваганова, Г.И. Горчакова, Ю.П. Горлова, В.Г. Довжика, И.А. Иванова, С.М. Ицковича, И.А. Корнева, Ю.Е. Корниловича, А.А. Кудрявцева, Ю.Д. Нациевского, Н.А. Попова, И.Е. Путляевой, Б.Г. Скрамтаева, М.З. Симонова, Н.Я. Спивака, Я.Ш. Штейна, М.П. Элинзона, А. Шорта, Ж.П. Леви, К. Вальца и других.

Работы [4–7] посвящены исследованиям теплофизических свойств ограждающих конструкций. В статье А.Д. Жукова,

И.В. Бессонова, А.Н. Сапелина и Е.Ю. Бобровой рассмотрены новые подходы к оценке теплозащитных качеств и предложена установка и методика их точного измерения для единичных блоков и фрагментов стен и конструкций [5]. В статьях [8–10] рассмотрены энергоэффективные стеновые материалы и конструкции. Работы [11, 12] посвящены проблеме разработки экологичных стеновых материалов и их конкурентоспособности.

Легкие бетоны, изготовленные на цементном вяжущем, пористом неорганическом крупном заполнителе, пористом (искусственном и/или природном) или плотном мелком неорганическом заполнителе (см. таблицу), могут применяться для изготовления сборных, монолитных и сборно-монолитных и железобетонных конструкций, изделий для зданий и сооружений различного назначения [3].

Область применения легкого бетона на основе различных видов пористых заполнителей

Вид бетона	Назначение бетона		
	теплоизо- ляционный	конструкционно- теплоизо- ляционный	конструк- ционный
Керамзитобетон	+	+	+
Шунгизитобетон	+	+	±
Аглопоритобетон	–	±	+
Шлакопемзобетон	±	+	+
Перлитобетон	+	+	±
Бетон на щебне из по- ристых горных пород	±	+	+
Термолитобетон	–	+	+
Вермикулитобетон	+	–	–
Шлакобетон	–	+	+

Примечание. Знак «+» означает, что данный бетон рекомендуется, «±» – допускается, «–» – не рекомендуется для применения.

Для получения эффективных легких бетонов требуются качественные пористые заполнители. Известно, что в настоящее

время наибольший удельный вес в общем объеме производства искусственных пористых заполнителей занимает керамзит (70–75 %). Для получения керамзита необходимы высокопластичные и легковспучиваемые глины, такие как бентонит, каолин, монморионит и другие. Однако отсутствие вышеуказанных глин во многих регионах не позволяет получать качественный керамзит.

За последнее время, как отмечают многие исследователи, проводятся научные работы по изысканию возможностей разработки пористых заполнителей с применением различных отходов производств и местных сырьевых ресурсов (зольный гравий, аглопорит, кварцевит, кампорит и др.), позволяющих расширить номенклатуру пористых заполнителей, снизить стоимость сырьевых материалов и затраты энергоресурсов на их производство [1–3, 11, 12]. В СНГ и в дальнем зарубежье накоплен достаточно большой опыт применения конструкционных легких бетонов на различных пористых заполнителях. При этом наибольшее распространение получили следующие виды изделий и конструкций: стеновые панели, плиты перекрытий и покрытий, а также фермы, балки, своды и другие.

Ведущими научно-исследовательскими институтами в области строительства (НИИЖБ, НИИСК, НИИЭС и др.) обобщен опыт проектирования и строительства зданий и сооружений различного назначения с применением легких бетонов. При этом установлено, что замена тяжелого бетона легким экономически эффективна, если соотношение стоимости крупного пористого и плотного заполнителей в промышленных зданиях составляет 1:1,5; в крупнопанельных жилых домах 1:2,5; в сельскохозяйственных зданиях 1:3.

Специфические свойства пористых заполнителей определяют особенности легкого бетона. Этот бетон является более однородным композиционным материалом по сравнению с тяжелым бетоном. Объясняется это более близкими значениями прочности и пористости легкого заполнителя с цементно-песчаным раствором, более сильным сцеплением пористого заполнителя, особенно аглопорита, с цементным камнем.

Н.А. Попов и А.И. Ваганов [13, 14] считали, что на данном пористом заполнителе, при принятом расходе цемента, существует предельная прочность легкого бетона, которая не повышается или мало изменяется даже с ростом прочности растворной части. По их мнению, значительное увеличение прочности легких бетонов возможно только при увеличении предельной прочности и деформативности пористого заполнителя.

М.З. Симонов установил, что в бетонной смеси и в свежеотформованном бетоне на пористых заполнителях через их поры происходит отсос влаги из цементного теста. При этом объем этой влаги превышает объем воздуха, отдаваемого цементному тесту. В результате возникает градиент давления в контактном слое между заполнителем и цементным тестом, обуславливающий повышение плотности цементного теста и улучшение его адгезии с заполнителем. Установленный эффект получил название «самовакуумирование». В дальнейшем при уменьшении количества воды в цементном камне вследствие гидратации цемента, пористые заполнители возвращают ранее поглощенную воду, создавая благоприятные условия для протекания гидратации цемента и уменьшения усадочных явлений в цементном камне и в целом в легком бетоне.

Исследования, проведенные рядом ученых, показали, что в капилляры заполнителя диаметром более 0,05 мм, которые характерны большинству видов пористых заполнителей, проникает цементно-водная суспензия, объем которой тем меньше, чем меньше количество воды в бетонной смеси и чем меньше размер открытых пор заполнителя. Внутри пор крупного заполнителя происходит процесс гидратации цемента с образованием кристаллогидратов, срастание которых с поверхностью капилляров упрочняет заполнитель и обуславливает высокую силу сцепления его с цементным камнем.

А.И. Ваганов [14] считает, что бетон разрушается при достижении предела сжимаемости одним из его компонентов. Если таковым оказывается пористый заполнитель, то дальнейшее повышение прочности и сжимаемости растворной части не приво-

дит к росту прочности и деформативной стойкости бетона, т.е. достигается предельная прочность легкого бетона.

В работах Р.К. Житковича и Ю.Е. Корниловича приводятся результаты исследований по определению причин сжимаемости легкого бетона на керамзите. Однако наблюдаемый ими рост сжимаемости керамзитобетона относительно невелик. Ю.Е. Корнилович [15] объясняет замедленный рост сжимаемости деформативностью цементно-песчаного раствора, находящегося только между зернами пористого заполнителя.

Исследованиями, проведенными рядом ученых, доказано, что основные свойства керамзитобетона, и в первую очередь его прочность и деформативность, обусловлены показателями растворной части бетона и заполнителя. Из работ И.А. Иванова и А.И. Кротова следует, что пористый заполнитель, будучи обычно хрупким и малодеформативным, в условиях адгезионного обжатия имеет большую растяжимость. Поэтому обжатие и адгезия затвердевшего вяжущего значительно повышают прочность пористого заполнителя. Из этого можно сделать вывод о том, что фактическая прочность пористого заполнителя в легком бетоне не является величиной постоянной и может повышаться с увеличением прочности цементно-песчаного раствора, а также зависит от технологических факторов приготовления бетонной смеси и дальнейшего твердения.

В настоящее время получение высокопрочного керамзита, как правило, связано с повышенными требованиями к сырью для его изготовления или изысканием новых способов получения, которые зачастую усложняют технологию и не всегда экономически оправданы. Поэтому данная проблема заставляет обращаться к применению новых видов пористых заполнителей на местном сырье и отходов угледобычи в легких бетонах. Следовательно, применение этого заполнителя, имеющего прочность при сдавливании в цилиндре 2,5–3,0 МПа, насыпную плотность 730–750 кг/м³, позволяющего получать легкие бетоны классов В10–В30, вполне приемлемо.

Заключение

Исходя из вышеизложенного можно сделать вывод о перспективности разработки составов высокопрочных легких бетонов с высоким показателем удельной прочности, которые найдут применение при изготовлении изделий в гражданском и промышленном строительстве, монолитном строительстве, при возведении сооружений специального назначения. Использование предлагаемых бетонов как материала конструкционного назначения с высоким показателем физико-механических и теплофизических свойств обеспечивает эффективность применения такого бетона.

Список литературы

1. *Ильина, Л. В.* Повышение прочностных характеристик цементных композитов на основе цемента длительного хранения // Фундаментальные исследования. – 2011. – № 12. – С. 112–116.
2. *Ильина, Л. В., Гичко, Н. О.* Цементные материалы с минеральными микронаполнителями // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 8. – С. 122–124.
3. *Самойлов, К. А., Антипина, А. А.* Легкий бетон как материал для стеновых конструкций // Alfabuild. – 2018. – № 1 (3). – С. 55–64.
4. *Гагарин, В. Г.* Теплофизические свойства стеновых ограждающих конструкций // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2012. – № 1(121). – С. 100–107.
5. *Жуков, А. Д., Бессонов, И. В., Сапелин, А. Н., Боброва, Е. Ю.* Теплозащитные качества стен // Вестник МГСУ. – 2014. – № 5. – С. 70–77.
6. *Wang, X., Yu, H., Li, L., Zhao, M.* Research on temperature dependent effective thermal conductivity of composite-phase change materials (PCMs) wall based on steady-state method in a thermal chamber // Energy and buildings. – 2016. – № 126. – Р. 408–414.
7. *Ананьев, А. И., Ананьев, А. А.* Долговечность и энергоэффективность наружных стен из облегченной кирпичной

- кладки // Academia. Архитектура и строительство. – 2010. – № 3. – С. 352–356.
8. Савченко, Ф. М., Семенова, Э. Е., Чумикова, Е. А. Анализ применения энергоэффективных материалов и систем в конструктивном решении стен зданий // Научный вестник Воронежского гос. архитектур.-строит. ун-та. – 2016. – № 1. – С. 191–194.
 9. Lee, S., Kim, S., Na, Y. Comparative analysis of energy related performance and construction cost of the external walls in high-rise residential buildings // Energy and buildings. – 2015. – № 99. – Р. 67–74.
 10. Uniben Yao, A. T., Ambrose, D., Leif, G. Primary energy implications of different wall insulation materials for buildings in a cold climate // YaoEnergy Procedia. – 2014. – № 61. – Р. 1204–1207.
 11. Трескова, Н. В., Пушкин, А. С. Современные стеновые материалы и изделия // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2013. – № 11(178). – С. 32–35.
 12. Пикула, А. И. Эффективные стеновые композитные материалы с повышенным уровнем экологичности // Вестник Полоцкого гос. ун-та. Серия F: Строительство. Прикладные науки. – 2015. – № 8. – С. 115–119.
 13. Попов, Н. А., Элинзон, М. П., Штейн, Я. Ш. Подбор состава легких бетонов на искусственных пористых заполнителях. – Москва : Стройиздат, 1973. – С. 62–78.
 14. Ваганов, А. И. Керамзитобетон. – Москва : Стройиздат, 1978. – 268 с.
 15. Корнилович, Ю. Е., Нацневский, Ю. Д. О формуле прочности легкого бетона // Технология легких бетонов на пористых заполнителях и их применение в строительстве. – Москва : Стройиздат, 1966. – С. 90–98.

РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ СТАДИЙНОСТИ МОНТАЖА НА ПРИМЕРЕ ОБЪЕКТА «СТЕКЛЯННАЯ КОРА» В ПРИРОДНО-ПАРКОВОМ КОМПЛЕКСЕ «ЗАРЯДЬЕ» В г. МОСКВЕ

А.В. Кашин*, Ю.В. Лунев **, А.А. Морозов ***

«Стеклянная кора» — крупнейшая в мире светопрозрачная конструкция без опорных ограждающих стен. Она представляет собой оболочку свободной формы и имеет габаритные размеры 130×90 м. В статье рассмотрены методы монтажа сетчатых оболочек, правила и условия приемки данных конструкций после монтажа, взаимодействие различных организаций в процессе монтажа уникальных сооружений.

Ключевые слова: стальная оболочка, сетчатая оболочка, метод конечных элементов (МКЭ), строительство уникальных конструкций, монтаж стальных оболочек.

1. Описание проекта. Подготовка к проектированию

«Стеклянная кора» — крупнейшая в мире светопрозрачная конструкция без опорных ограждающих стен. Она представляет собой оболочку свободной формы и имеет габаритные размеры 130×90 м. Площадь покрытия из металлического каркаса и стеклянных треугольников составляет 8,7 тыс. м². Средняя длина стержневых элементов составляет 2,5 м, углы между ними выдерживались максимально близко к значению в 60°. На рис. 1 приведен общий вид готовой конструкции.



Рис. 1. Общий вид собранной конструкции

* Директор ООО «Несущие системы»

** Канд. техн. наук, доцент кафедры технологии и организации строительства НГАСУ (Сибстрин)

*** Ведущий инженер-конструктор ООО «Несущие системы»

2. Конструктивные особенности и расчетная схема

Опорами для данной конструкции являются отдельно стоящие трех-, четырехветвевые колонны треугольного поперечного сечения. Расстояние между ветвями колонн составляет от 12 до 20 м. Свесы по периметру покрытия имеют вылет до 6 м. Данная компоновка обеспечивает максимальную горизонтальную прозрачность из-за отсутствия стен/балок по периметру конструкции, а значительное расстояние между опорами позволяет добиться эффекта максимально открытого пространства под Стеклянной корой.

Все колонны имеют пространственные шарнирные базы (рис. 2). Данный вид опор позволяет минимизировать нагрузки на конструкции покрытия нижележащего здания. Крепление оголовков колонн к конструкциям Стеклянной коры также происходит с помощью пространственных шарниров (по типу подшипников скольжения, примененных на базах – см. рис. 2).

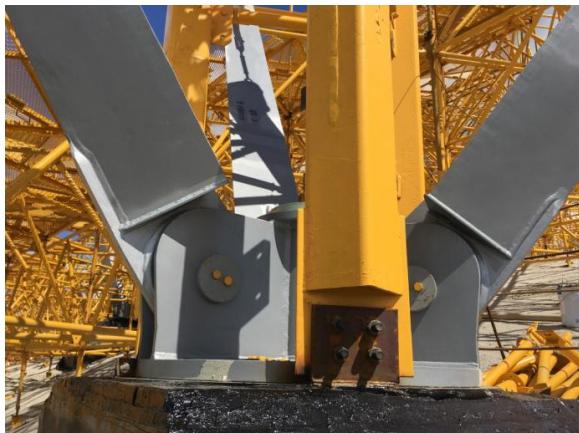


Рис. 2. База колонн

Еще одной особенностью конструкций покрытия является тот факт, что все его элементы находятся в различных условиях работы, на это оказывают влияние следующие факторы:

- расчетная снеговая нагрузка в различных зонах изменяется от 200 до 450 кг/м²;
- нормативная ветровая нагрузка в различных зонах изменяется от –30 до +20 кг/м²;
- наличие зоны окна со стеклянными ребрами;
- удаленность от опор, пролет между смежными опорами, а также величина консоли (ввиду нахождения по периметру водоотводного лотка с нагрузкой 250 кг/пог. м).

Для учета всех этих факторов, а также обеспечения минимизации сечений и унификации конструкций элементы стально-го каркаса запроектированы различного сечения:

- прокатные сечением 120×80×7 (использованы в коньковой зоне с минимальной нагрузкой, а также для придания легкости конструкции);
- прокатные сечением 200×100×8 (данные стержни используются в зоне со средней нагрузкой в местах с наклоном более 20° относительно горизонтальной поверхности);
- прокатные и сварные сечением 300×100×10 (12), сечением 350×110, 400×160 (эти элементы используются на плоских поверхностях, а также в зонах с наибольшим скоплением снега);
- стержни переменного по высоте сечения 200–300×100; 200–350×110; 300–350×100; 300–400×100.

Для сопряжении балок различного сечения применены сварные (для опорных узлов) и болтовые (для рядовых узлов) узловые коннекторы. Все болтовые соединения выполнены с помощью коннекторов двух типов: сплошного сечения (рис. 3) и наборного сечения (рис. 4). Последние позволяют соединять любые по высоте элементы, обеспечивая при этом экономию металла и сокращая время производства конструкций в заводских условиях. В наиболее нагруженных зонах (оголовки колонн) применены сварные коннекторы наборного сечения (рис. 5). Данные узлы отличаются увеличенной высотой сечения, применением стали повышенной прочности 10ХСНД-12, а также соединением примыкающих труб на сварке, что позво-

ляет достичь максимальных прочностных и жесткостных показателей.

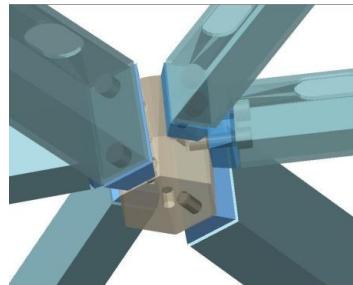


Рис. 3. Коннектор сплошного сечения

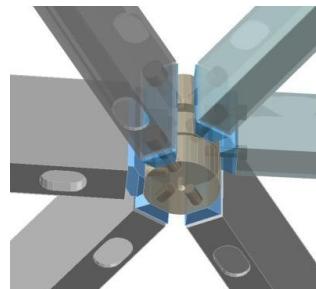


Рис. 4. Коннектор наборного сечения



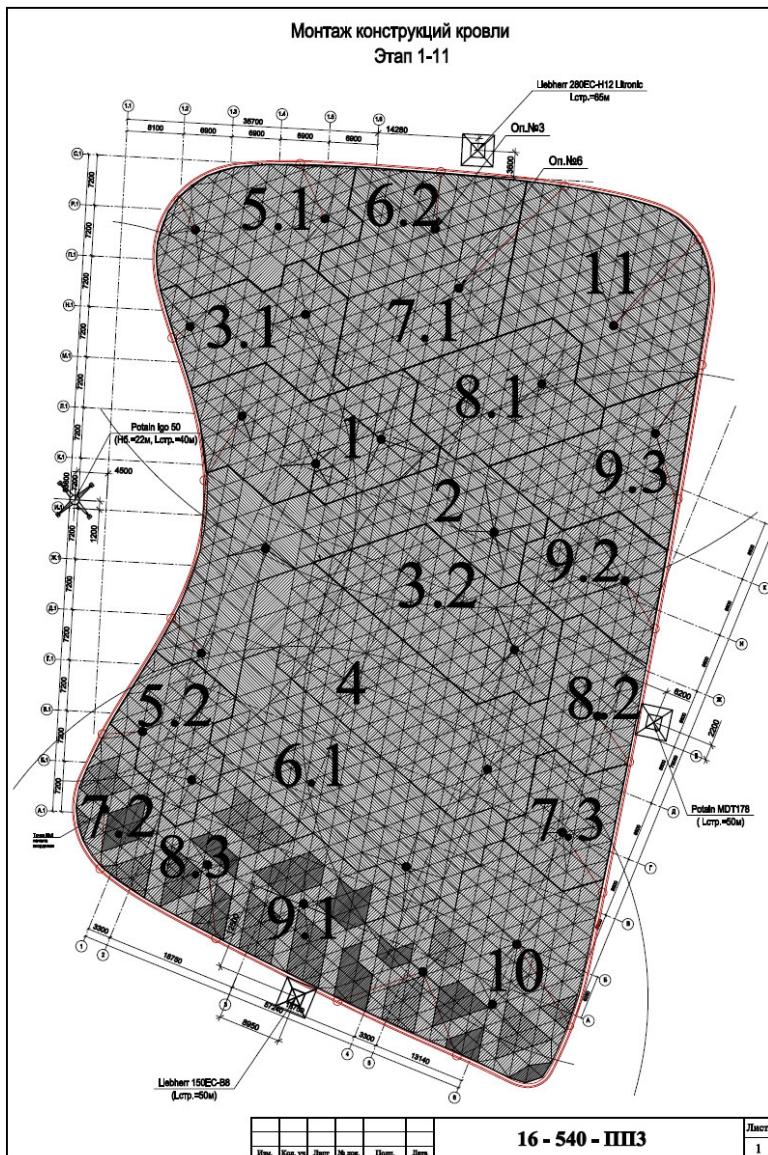
Рис. 5. Коннектор сварной наборного сечения

Таким образом, геометрическая неизменяемость всей конструкции определяется только жестким диском покрытия (жесткостью самой структурной конструкции), а также системой наклонных колонн, которые в совокупности дают требуемую горизонтальную жесткость.

Все вышесказанное определяет ряд нетипичных проблем, возникающих на этапе монтажа конструкций, а именно:

- при методе монтажа отдельными блоками возникает сложность при определении центра тяжести блока для правильного вычисления вылета стрелы и разработки оснастки для строповки;
- определение минимального количества точек строповки, необходимого для равновесного положения блока в воздухе, а также исключения чрезмерных монтажных усилий;
- разбивка всей конструкции на блоки таким образом, чтобы обеспечить геометрическую неизменяемость на каждом этапе монтажа. Также рекомендуется выполнить разбивку с тем условием, чтобы ранее собранные блоки не нуждались в дополнительных поддерживающих элементах;
- ввиду сжатого календарного графика следует предусмотреть выполнение остекления поточным методом на собранных блоках;
- верхние узлы колонн (оголовки колонн) должны иметь некоторую возможность корректировки своего положения во время выверки;
- в [1] не указаны четкие значения перемещений конструкции данного типа, что вводит дополнительные сложности при геодезической приемке конструкций.

Монтаж конструкций кровли
Этап 1-11



Ном.	Код. уч.	Лист	№ док.	План.	Дет.

16 - 540 - III3

Лист
1

Рис. 6. Разбивка конструкции на монтажные блоки
(цифрами указанна последовательность)

Для решения данных проблем авторы данной статьи выполнили расчет согласно [2] как на этапе проектирования конструкций, так и на каждом этапе монтажа в соответствии требованиям [3].

Для этого инженерами ООО ПСК «Сталькон» (с учетом рекомендаций ООО «Несущие системы») выполнена разбивка на монтажные блоки исходя из технологической последовательности монтажа, из возможности размещения площадок складирования, а также размещения кранового оборудования (рис. 6). Все блоки после разбивки получились неправильной геометрической формы, а также с неравномерной распределенной массой в силу наличия стержней различного сечения.

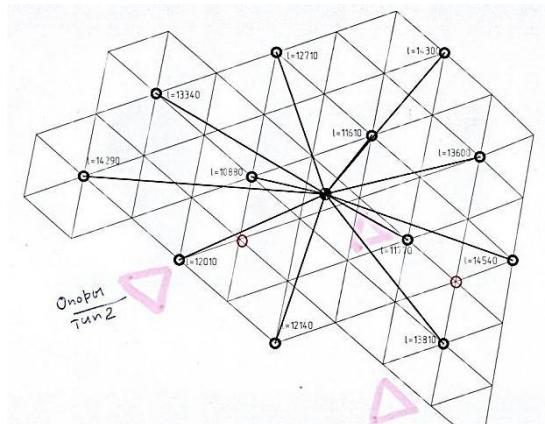


Рис. 7. Расчетная схема фрагмента на промежуточном этапе монтажа

С целью нахождения центра тяжести каждого блока, общей массы блока, а также необходимого количества точек строповки с указанием максимальной нагрузки на каждую ветвь, общая расчетная схема также была разбита на отдельные элементы (блоки). И с помощью имеющегося программного обеспечения (в данном случае расчетный комплекс Лира-САПР 2017 [4], см. рис. 7) данные необходимые параметры были вычислены и переданы инженеру ООО «Сталькон» для дальнейшей разработки технологического регламента.

Аналогичным образом выполнены и расчеты для определения последовательности монтажа. На рис. 8 представлена расчетная схема на одном из завершающих этапов. В результате получены усилия от монтажных нагрузок, которые не должны превышать расчетные усилия, доказана геометрическая неизменяемость конструкций на каждом этапе монтажа, а также найдены деформации отдельных частей после раскручивания (эта информация необходима для определения возможности укладки стеклопакетов на стадии незавершенного монтажа и облегчения сборки примыкающих последующих блоков).

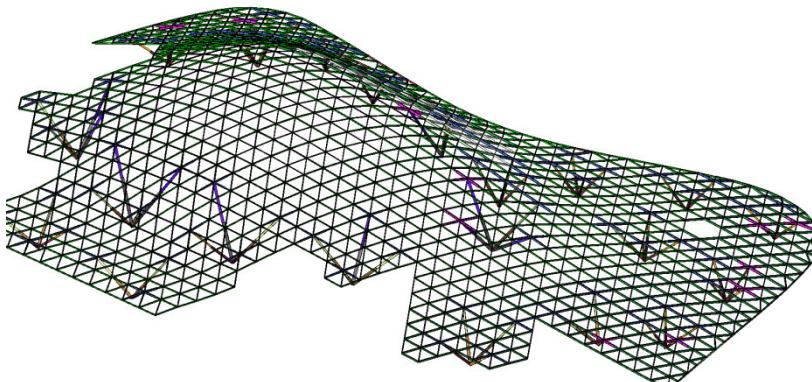


Рис. 8. Расчетная схема фрагмента на промежуточном этапе монтажа

На рис. 9 представлен фотофрагмент, где на заднем плане выполняется монтаж металлических конструкций и располагаются временные поддерживающие конструкции, в то время как на переднем плане они уже отсутствуют и практически завершен монтаж стеклопакетов, что определяет его поточный характер, как и было задумано и подтверждено расчетами.



Рис. 9. Фрагмент конструкции на промежуточной стадии монтажа

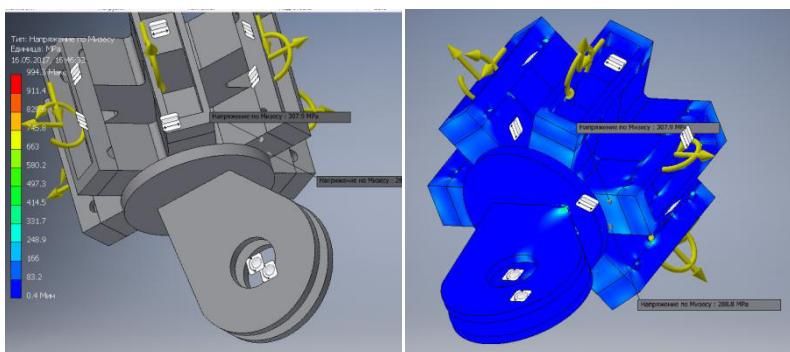


Рис. 10. Узловой элемент оголовка колонны

Важной частью сборки конструкций оказалась возможность геодезической выверки на этапе сопряжения конструкций колонн и покрытия. Точность изготовления стержней и узловых элементов составляет менее 0,1 мм, в то время как точность установки колонн согласно [3] может достигать 5 мм. Для этого сотрудниками ООО ПСК «Сталькон» и ООО «Несущие конструкции» был разработан запатентованный на данный момент времени узел, представляющий собой опору в виде круглой пла-

стин, которая является по сути линейным шарниром в двух направлениях на момент монтажа. После окончательной сборки и выверки происходит финальное закрепление путем обваривания данного листового шарнира (рис. 10). Расчет выполнялся с применением программ трехмерного моделирования конструкций с обязательным наличием модуля для расчета усилий методом конечных элементов.

На завершающей стадии монтажа при приемочном контроле выполнена геодезическая съемка каждого блока и всей конструкции в целом (рис. 11). Для контроля правильности сборки данные значения сравнивались с расчетными показателями перемещений конструкций от собственного веса и веса стеклопакетов.

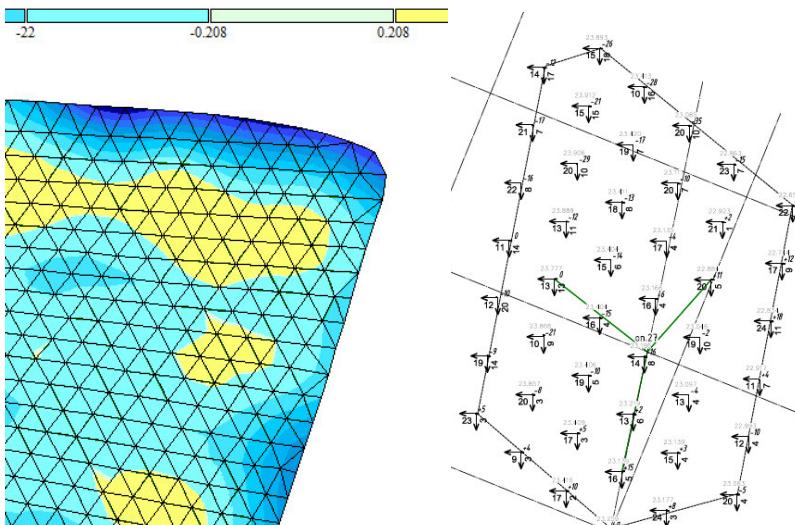


Рис. 11. Фрагмент расчетных перемещений и фактических (исполнительная съемка)

Заключение

При строительстве зданий и сооружений различного типа крайне необходимо постоянное сотрудничество строительных и проектных организаций. Оно должно проявляться и на этапе

проектирования конструкций (при выборе методов монтажа, подборе кранового оборудования и т.д.), и на этапе монтажа (при подборе строповочного оборудования, размещении временных опорных конструкций и т.п.). При этом обеспечиваются лучшие технико-экономические показатели проекта по срокам возведения зданий и по экономичности принятых решений. Особенно данный факт является заметным в области нетипового строительства, где не имеется ранее наработанного опыта монтажа.

Список литературы

1. *СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85**. – Москва : Минстрой России, 2016. – 80 с.
2. *СП 16.13330.2011. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81**. – Москва : Минрегион России, 2012. – 172 с.
3. *СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87.* – Москва : Минрегион России, 2012. – 161 с.
4. *Городецкий, Д. А., Барабаш, М. С., Водопьянов, Р. Ю., Титок, В. П., Артамонова, А. Е. Программный комплекс ЛИРА-САПР 2013 [Электронное издание] : учеб. пособие / под ред. академика РААСН А. С. Городецкого. – Киев ; Москва, 2013. – 376 с. – Режим доступа: https://www.lira-land.ru/public_private/lira/2013/books_lirasapr_2013.pdf*

РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ БЕТОНИРОВАНИЯ КОЛОННЫ НА ПРОМОРОЖЕННОЙ ПЛИТЕ ПЕРЕКРЫТИЯ

Я.В. Назаренко^{*}, В.В. Молодин^{}**

Цель работы: установить динамику изменения температурных полей в твердеющем бетоне каркасных конструкций, бетонируемых на мерзлом основании, для обоснования технологии их бетонирования и выдерживания. Сравнить расчетные данные с результатами реального бетонирования в условиях строительной площадки.

В статье представлены результаты исследований температурных режимов каркасных железобетонных конструкций, твердеющих в зимних условиях, на конструкциях ранее забетонированных и остывших до температуры окружающей среды, подвергающихся термообработке греющим проводом с помощью программы ELCUT и надстройки WinConcret и сравнение их с результатами натурных испытаний.

Ключевые слова: бетон, зимнее бетонирование, метод конечных элементов, прогрев, температурное поле.

Введение

В практике строительства подавляющее большинство монолитных каркасных конструкций (колонн, балок, стен, перекрытий), бетонируемых в условиях отрицательных температур, имеет непосредственный контакт с частями зданий и сооружений, забетонированных ранее, успевших остыть до температуры окружающей среды, и оказывающих существенное влияние на температурный режим твердеющей конструкции, а так же приобретение бетоном необходимой прочности.

Общим местом является то, что точный расчет температурных режимов физических тел возможен с помощью дифференциального уравнения Фурье [7]. Однако даже для простых строительных конструкций сделать это без эффективных

^{*} Магистрант кафедры технологии и организации строительства НГАСУ (Сибстрин)

^{**} Д-р техн. наук, профессор кафедры технологии и организации строительства НГАСУ (Сибстрин)

средств вычислений было весьма затруднительно. Поэтому, для строительной практики, теоретики зимнего бетонирования пошли на ряд допущений и упрощений. Появились формула теплового баланса [8], зависимости, полученные на основе теории градусочасов [11] и теории регулярного режима [9].

Это существенно облегчило расчеты, однако точность получаемых результатов находилась в пределах 20...80 %. А важнейшая позиция – прогнозирование температурных полей – вообще осталась без разрешения.

Появление мощных портативных средств вычислений – персональных компьютеров – изменило ситуацию. Стало возможным вернуться к точным аналитическим решениям [10] или методам конечных элементов [1] и непосредственно на строительной площадке определять развитие температурных полей и полей прочности.

Методы математического моделирования сложных физических и организационно-технологических процессов, разработанные для решения задач зимнего бетонирования [6], сделали возможным достаточно точно прогнозировать температурные поля и поля прочности железобетонных конструкций, твердеющих на морозе. Однако необходимость применения абсолютно устойчивых и абсолютно сходимых явных и неявных разностных схем численной аппроксимации многомерных дифференциальных уравнений [12] усложняет расчеты и тормозит их широкое внедрение в производство.

Другим перспективным направлением решения задач зимнего бетонирования является метод конечных элементов [4]. Одним из программно-вычислительных комплексов, призванных решать подобные задачи, является программный комплекс ELCUT, который позволяет рассчитывать температурные поля конструкции. Сначала решается стационарная задача, она выступает в роли создателя начальных данных, а затем с заданным шагом по времени осуществляется переход к решению нестационарной задачи. В программном комплексе ELCUT, как и в других методах расчетов, задаются исходные данные для конструкции, а также условия окружающей среды. Решением

задачи являются температурные поля в различные периоды выдерживания, а также графики набора прочности [1].

Цель работы: установить характер температурных полей в твердеющем бетоне каркасных конструкций, бетонируемых на мерзлом основании, в условиях отрицательных температур.

1. Постановка задачи

1. Расчет с помощью программы ELCUT и надстройки WinConcret температурных полей в монолитной железобетонной колонне, твердеющей в зимних условиях на ранее забетонированном и остывшем до температуры окружающей среды монолитном перекрытии с термообработкой бетона греющим проводом.

2. Сравнение результатов расчета с результатами натурных измерений в фрагменте колонны, твердевшем в условиях отрицательных температур на мерзлом перекрытии с термообработкой греющим проводом.

2. Методика исследования

С помощью программы ELCUT производится расчет тепловых полей и отслеживается характер их изменения в процессе термообработки бетона колонны.

Полученные результаты сравниваются с результатами натурных испытаний модели исследуемого стыка.

Делается вывод о целесообразности применения ПО ELCUT для моделирования тепловых процессов для сложных строительных конструкций, бетонируемых в зимних условиях.

В качестве объекта исследования выбран узел колоннаплита перекрытия (рис. 1). Считается, что плита перекрытия была изготовлена ранее из бетона В25 и к началу бетонирования колонны приобрела температуру окружающей среды. В утепленную фанерную опалубку монолитной колонны с размерами $400 \times 400 \times 3100$ мм при температуре окружающей среды -30°C и скорости ветра $0,0 \text{ м/с}$ укладывается бетонная смесь класса В25 с температурой $+30^{\circ}\text{C}$. Уложенный бетон подвергается термообработке греющим проводом ПНСВ 2, мощностью $1,6 \text{ Вт/пог. м}$, навитым на арматурный каркас с шагом 50 мм.

Теплофизические характеристики используемых материалов приведены в табл. 1.

Таблица 1
Физические характеристики используемых материалов

Физические характеристики	Бетон	Утеплитель верха колонны	Фанера	Утеплитель перекрытия и опалубки
Теплопроводность, Вт/К×м	2,8	0,9	0,17	0,05
Удельная теплоемкость, Дж/кг×°С	840	1700	1700	840
Плотность, кг/м ³	2450	40	600	125

Армирование условно не показано

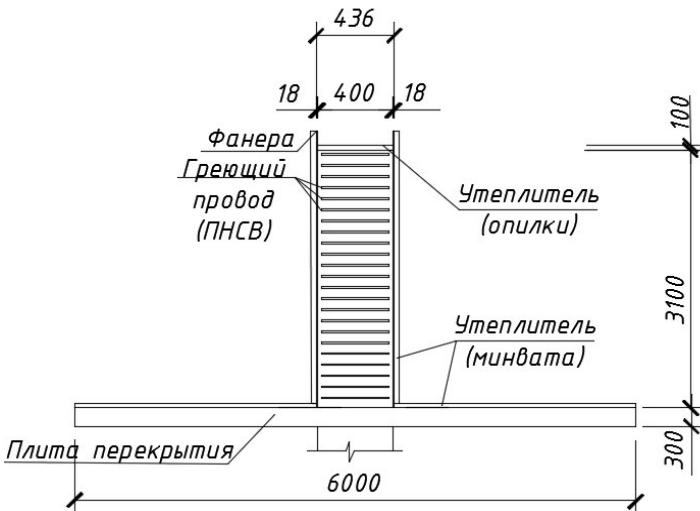


Рис. 1. Исследуемая модель и схема расположения греющего провода в колонне

4. Расчет с помощью программы ELCUT

Реализация решения построена на постановке исходной задачи и решении серии таких последовательно связанных задач.

При этом колонна и плита перекрытия разбиваются прямоугольной сеткой на блоки из конечных элементов, в которых могут быть заданы различные свойства, постоянные в пределах конкретного блока и на временном шаге, а временной шаг может изменяться с заданным интервалом. Для решения начальной задачи берется нулевое время прогрева – момент бетонирования конструкции.

Для решения поставленной задачи была создана расчетная модель в конечных элементах в программном комплексе ELCUT [1] с соблюдением геометрических размеров, физических и механических свойств материалов. В качестве расчетной схемы смоделировано сечение колонны на плите перекрытия.

Сетка конечных элементов для данной конструкции представлена на рис. 2.

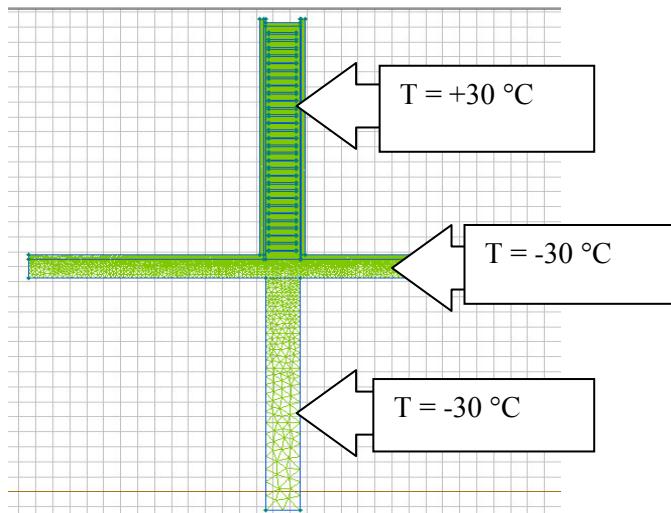


Рис. 2. Расчетная модель с построением сетки конечных элементов

Для бетона показатели излучения и тепловыделения рассчитываются автоматически в зависимости от температуры и времени. Показатели теплоемкости, теплопроводности, плот-

ности материалов взяты из справочника программы. Греющие провода заданы вершинами с определенной мощностью тепловыделения (рис. 3).

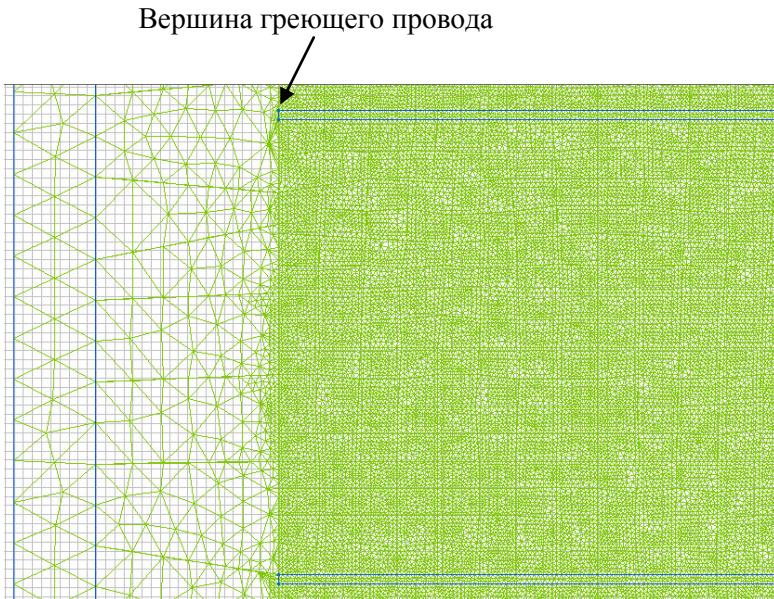


Рис. 3. Способ задания вершин греющего провода

На основании введенных данных решалась стационарная задача, т.е. задача, целью которой являлось определение температурных полей в конструкции после укладки бетона и перед началом термообработки бетона. Результаты спустя 1 час измерений, полученные в ходе решения задачи на персональном компьютере марки ASUS X53B, изображены на рис. 4а.

Для исследования температурных полей были выбраны параметры и время прогрева – 85 часов. Время определялось относительно времени эксперимента. Прогрев конструкции осуществлялся при помощи греющего провода. Расчет выполнялся непосредственно в программе ELCUT. Так как шаг решения задачи выбирается пользователем, в данной работе он определен

в 1 час. Программный комплекс осуществляет решение задачи с учетом теплоемкости и теплопроводности всех материалов конструкции в расчетной схеме.

Конечные решения приведены на рис. 4б. По зонам повышенной температуры можно определить расположение сечения греющих проводов. За время термообработки бетон прогревается до температуры 35°C , т.е. температурное превышение относительно окружающей среды составляет 65°C .

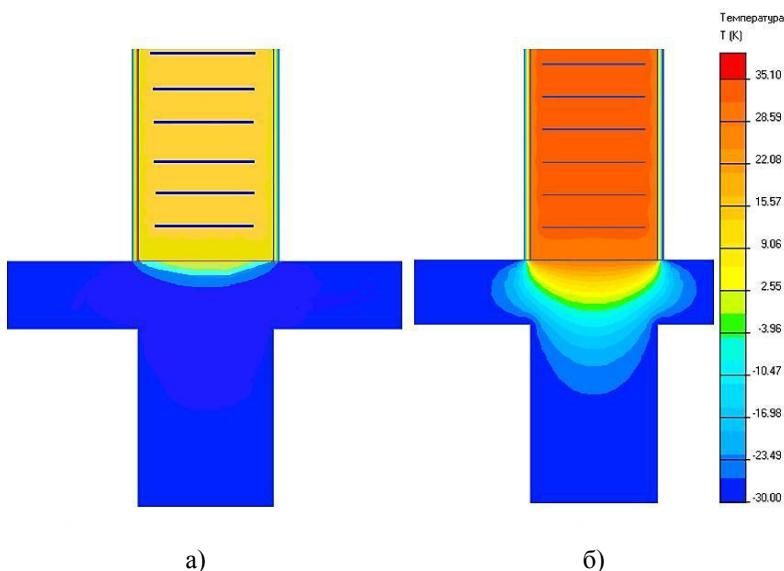


Рис. 4. Температурное поле в конструкции:
а – спустя 1 час измерений; б – по окончании 85 часов термообработки

Решением задачи является множество температурных полей в различное время термообработки. Программа строит график прогрева отдельных участков в заданных точках. Подробно динамика изменения температурных полей, рассчитанная программным комплексом ELCUT, приводится в обсуждении результатов исследования.

5. Экспериментальное исследование температурных полей

Для получения натурных результатов в климатической камере, с температурой среды -30°C , была изготовлена модель узла «колонна-плита перекрытия» (рис. 5а), точно имитирующая условия теоретической задачи. С целью оптимизации эксперимента было принято решение о применении условий симметричной тепловой задачи – бетонировать половину колонны на половине перекрытия. Требование тепловой симметрии выполнялось качественным утеплением со стороны отсутствующей части конструкции.

Для эксперимента была изготовлена фанерная опалубка высотой 0,55 м, с внутренними размерами $0,4 \times 0,2$ м и 15 отверстиями под датчики температуры. В качестве промерзшего основания в эксперименте использовался блок из тяжелого бетона размером $0,55 \times 0,5 \times 0,3$ м, охлажденный до температуры -30°C , и с установленными 9 датчиками температуры. Для реальной термообработки бетона применялся греющий провод ПНСВ 2, который после укладки бетона нагревался за счет регулируемого напряжения от понижающего трансформатора 80 кВт. Греющий провод размещался на арматурном каркасе горизонтально, с шагом 50 мм.

Расположение арматурных каркасов и греющего провода (рис. 5б) и температурных датчиков (рис. 6) внутри опалубки колонны дают представление о характере выделения мощности в свежеуложенном бетоне конструкции и местах контроля температур в рассматриваемом узле. В эксперименте использовался тяжелый бетон класса В25, по составу аналогичный бетону фрагмента плиты.

Компоненты бетонной смеси были перемешаны и затворены горячей водой. Температура смеси перед укладкой равнялась $+30^{\circ}\text{C}$.

Далее бетонная смесь укладывалась в опалубку слоями с уплотнением и размещением измерительных элементов через отверстия в опалубке. Укладка бетонной смеси и установка датчиков были завершены через 30 минут, затем климатическая камера была закрыта.



а)

б)

Рис. 5. Модель узла «колонна-плита перекрытия» в климатической камере: а – общий вид; б – расположение арматуры и греющего провода в опалубке колонны

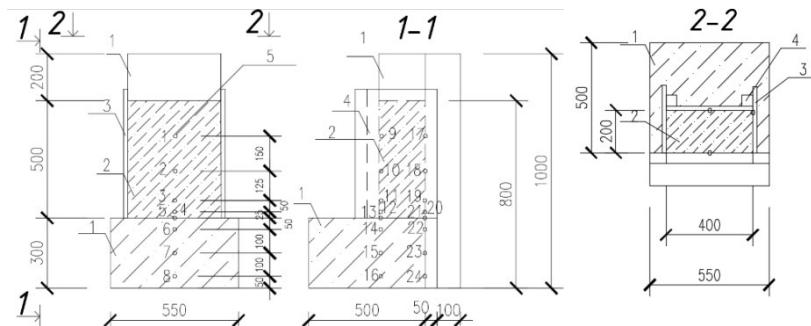


Рис. 6. Фрагмент колонны на промерзшем основании с указанием мест размещения датчиков: 1 – промерзшее основание; 2 – свежеуложенная бетонная смесь; 3 – опалубка; 4 – брусков; 5 – термопары

В климатической камере при температуре воздуха $t \approx -30^{\circ}\text{C}$ в течении 2 суток был охлажден бетонный блок (промерзшее

основание) до отрицательной температуры -30°C с заранее установленной на него опалубкой. Все сухие составляющие бетонной смеси (цемент, песок) заранее были перемешаны, затем добавлена вода затворения. Измерили начальную температуру смеси $t_{\text{нач}} = 30^{\circ}\text{C}$.

После укладки и уплотнения смеси был включен греющий провод с напряжением 8 В. Показания с датчиков начали снимать через 1 час после закрытия камеры. В дальнейшем время начала измерений принято за начало отсчета относительного времени эксперимента. Показания снимались с датчиков с интервалом 1 час в течение 25 часов, затем через каждые 5 часов в течение 60 часов. Общее время проведения измерений составило 85 часов. Результаты эксперимента приводятся ниже.

6. Обсуждение результатов исследования

Для сопоставления теоретических данных с результатами экспериментальной проверки было выполнено их совмещение в едином масштабе. Результаты расчета температурных полей в программе ELCUT сведены в единый график с фактическим распределением температуры бетона в конструкции узла «колонна-плита перекрытия» (рис. 7).

Из графического представления результатов расчета численным методом и экспериментальных данных можно вывести, что, несмотря на введенные в модель упрощения, она с достаточной точностью описывает динамику температурного поля, наблюдавшуюся в эксперименте.

Анализ приведенных данных показывает, что температурное поле описывается с помощью разработанной модели с достаточно высокой точностью (отклонения теоретической кривой температуры от экспериментальной составляют 3–10 $^{\circ}\text{C}$). Переход в 10 $^{\circ}\text{C}$ показан между 18 и 19 часами. Это говорит о том, что в данный момент времени, в ходе эксперимента было открывание климатической камеры с целью измерения силы тока на конце греющего провода и для осмотра данной модели и измерения температуры в камере.

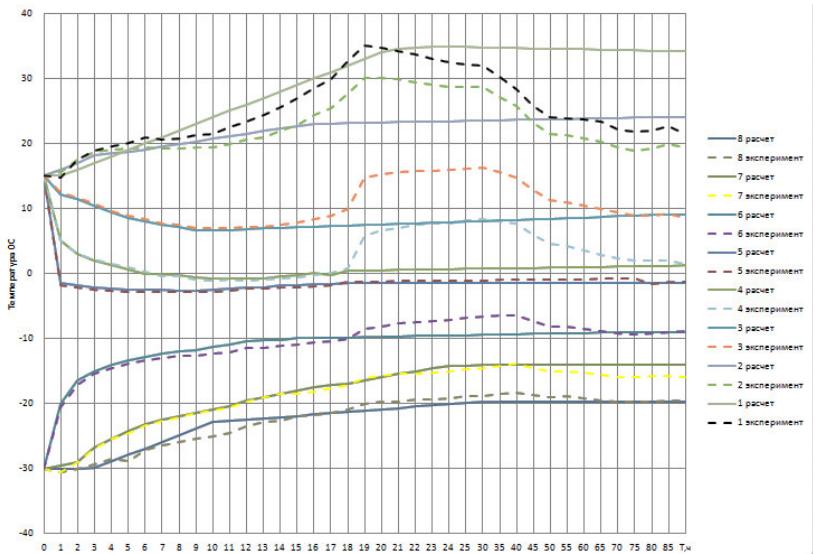


Рис. 7. Сопоставление данных, полученных с помощью ПК ELCUT и эксперимента в лаборатории кафедры ТОС НГАСУ (Сибстрин)

Некоторую несогласованность полученной теоретической модели и данных, полученных в результате эксперимента, можно объяснить как введенными упрощениями, так и возможным непостоянством принятых физических констант (коэффициента теплопроводности и удельной теплоемкости в свежеуложенном и затвердевшем бетоне). Однако сделанные замечания не носят принципиального характера и могут быть использованы для дальнейшего уточнения, а предложенная модель иллюстрирует основные процессы распределения тепла в изучаемой системе.

Выводы

1. В результате экспериментального исследования узла «колонна-плита перекрытия» по трем температурным створам были определены температурные поля ранее забетонированных и бетонируемых с термообработкой исследуемых строительных конструкций. Используя программный комплекс ELCUT и опираясь на экспериментальные данные, получена

полная картина изменения температурных полей (отклонения теоретической кривой температуры от экспериментальной составляют 3–10 °C).

2. Из изложенного выше следует, что и для сложных строительных конструкций, таких как стык колонны с ранее за-бетонированной плитой перекрытия, целесообразно применять расчет с помощью программного комплекса ELCUT, у которого имеется хорошая сходимость результатов с натурными показа-телями.

3. Основным достоинством расчета конструкций с помо-щью программного комплекса ELCUT является возможность избежать дорогостоящие и длительные натурные испытания, что значительно ускоряет, дополняет и эффективно иллюстрирует динамику изменения температурной картины, являющейся важнейшей составляющей при прогнозировании нарастания прочности бетона.

4. Ориентируясь на данные расчеты, можно сделать вывод о их применимости для упрощения процессов и прогнозирования сложных ситуаций на строительной площадке в структуре информационного управления.

Список литературы

1. Дудинов, М. О., Ватин, Н. И., Барабаников, Ю. Г. Моде-лирование набора прочности бетона в программе ELCUT при прогреве монолитных конструкций проводом // Инже-нерно-строительный журнал. – 2012. – № 8 (34). – С. 72–78.
2. Крылов, Б. А. Методы производства бетонных работ с при-менением прогрева и обогрева конструкций // Второй меж-дунар. симп. по зимнему бетонированию : генер. докл. – Москва : Стройиздат, 1978. – С. 101–122.
3. Миронов, С. А., Глазырина, Е. Г. Влияние раннего замора-живания на прочностные и деформационные характе-ристики бетона. Зимнее бетонирование и тепловая обработка бе-тона. – Москва : Стройиздат, 1975. – 153 с.
4. Мииичев, А. И., Мартынова, А. Е. Решение задач тепло-проводности методом конечных элементов в САЕ-системе ELCUT : метод. указания по изучению курсов САПР для

- студентов механических специальностей. – Астрахань : АГТУ, 2001. – С. 5–7.
5. *Молодин, В. В., Андриевский, С. Н., Пинаева, Ю. А.* Зимнее бетонирование конструкций монолитного каркаса зданий с электродным прогревом бетона // Актуальные проблемы строительной отрасли : сб. тезисов докладов Всерос. науч.-техн. конф. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2008. – С. 133–134.
 6. *Молодин, В. В., Лунев, Ю. В.* Бетонирование монолитных строительных конструкций в зимних условиях : монография. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2006. – 300 с.
 7. *Руководство по производству бетонных работ в зимних условиях в районах Дальнего Востока, Сибири и Крайнего Севера / ЦНИИОМТП Госстроя СССР.* – Москва : Стройиздат, 1982. – 213 с.
 8. *Скрамтаев, Б. Г.* О формуле для определения прочности бетона // Строительная промышленность. – 1932. – № 1.
 9. *Кондратьев, Г. М.* Регулярный тепловой режим. – Москва : Гос. изд-во техн.-теорет. лит., 1954. – 408 с.
 10. *Попов, Ю. А., Лунев, Ю. В., Шалгунова, О. А.* Математическое моделирование динамики температурного и прочностного полей при дифференцированном прогреве бетона в строительных конструкциях призматической формы // Изв. вузов. Строительство. – 2005. – № 4. – С. 73–78.
 11. *Руденко, Д. В.* Методы расчета параметров прогрева бетона при помощи греющих проводов. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2007. – 11 с.
 12. *Яненко, Н. Н.* Метод дробных шагов решения многомерных задач математической физики. – Новосибирск : Изд-во НГУ, 1966. – 364 с.
 13. *Молодин, В. В., Андриевский, С. Н., Пинаева, Ю. А.* Зимнее бетонирование одиночных колонн и плит перекрытий монолитных каркасов жилых и гражданских зданий // Изв. вузов. Строительство. – 2008. – № 7. – С. 35–44.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АРХИТЕКТУРНОЙ БИОНИКИ

Ю.Э. Чмир*

Установлено, что архитектурная бионика сегодня приобретает особое значение, так как рассматривает в совокупности систему «живая природа (среда) – архитектура (техника) – человек» [1], благодаря чему появляется возможность архитектуре развиваться в гармонии с окружающей природой.

Выделяем основные направления бионики, формируем адаптационную классификацию в архитектурной бионике на базе полученных знаний, ранее установленных исследователями.

Ключевые слова: архитектурная бионика, бионика, системная целостность, форма, функция.

Введение

Современные тенденции в архитектурной теории и практике, выраженные в отдельных концепциях, методах и подходах, «подкрепляются» новейшими знаниями и свидетельствуют о развитии вектора бионаправленной архитектуры [2]. Актуальность исследования состоит в том, что мир активно переходит на нелинейные методы формирования архитектурного пространства, берущие за основу биозооморфические образы. Пропущенные через компьютерные технологии моделирования, они становятся сегодня наиболее востребованными социумом [3].

Новизна исследования заключается в структурировании бионических объектов. На данном этапе развития архитектурной бионики существующая функционально-утилитарная ассоциация основана на функциональных связях, механических и покровных тканях, которые способствуют успешной реализации бионических объектов.

* Аспирант кафедры градостроительства и городского хозяйства НГАСУ (Сибстрин)

Цель исследования – выявить основные направления бионики, проводимых исследований в смежных науках с дальнейшим применением в параметрических формообразованиях архитектуры.

1. Постановка задач

Определить основные закономерности возникновения архитектурной бионики.

Выявить принципы формирования архитектурной бионики.

Классифицировать имеющиеся бионические объекты.

2. Определить основные закономерности возникновения архитектурной бионики

Говоря о бионике необходимо затронуть ветви развития бионики в соответствующих науках (рис. 1).

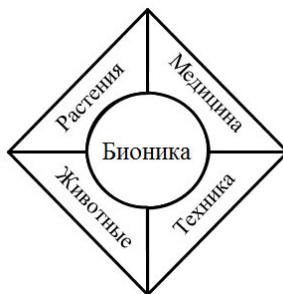


Рис. 1. Основные направления в архитектурной бионике

Закономерность возникновения бионики обуславливается наличием трех факторов. Первый из них – острая взаимная потребность в тесном взаимодействии, обмене опытом, научной информацией и идеями представителей биологических и технических наук при решении задач, свойственных этим наукам. Второй фактор – необходимость решения задач, стоящих на грани этих наук, таких как протезирование органов, объективный контроль над состоянием организма человека в условиях космических полетов, глубоководных погружений, инженерно-психологическое проектирование систем «человек-машина» и др.

Третьим фактором явилось то, что накоплены знания в изучении структуры и функционирования живых организмов, разработаны основные методы их изучения, а также появилась научная и техническая база, необходимая для постановки этих исследований [4]. Именно эти закономерности положены в основу архитектурной бионики, так как она находится на границе технического, теоретического и биологического направлений бионики.

С точки зрения тектоники, бионика получила название «кибернетика», принципы управления и связи в живых организмах и машинах стали перспективными направлениями изучения строения и функций живых систем.

В медицине бионика ставит перед учеными важные задачи по изучению нервной системы человека и животных, а также моделирования нервных клеток и нейронных сетей для создания более совершенных вычислительных систем. Также бионика в медицине занимается изучением систем восприятия окружающего мира живыми организмами. Важной задачей бионики в медицине является тщательное изучение физиологических, биохимических, а также морфологических особенностей живых организмов. Особое внимание в медицине уделяется трехмерным моделям биометрических остеохондральных каркасов для поддержания регенерации костных и хрящевых тканей человека.

3. Архитектурная бионика: принципы формирования

Большая методологическая задача, которая стоит перед архитектурной бионикой – это формирование концепции непрерывной архитектурной среды и дальнейшая реализация ее в архитектурной и градостроительной практике [5, с. 7].

Для начала обратимся к понятиям форма и функция в архитектуре, исключая понятие бионики, разберем основное отличие функции в живой природе и в архитектуре.

Внутреннее пространство оказывает влияние на функционально-технологические процессы с учетом комплекса различных факторов, которые в свою очередь несут существенные изменения в форму.

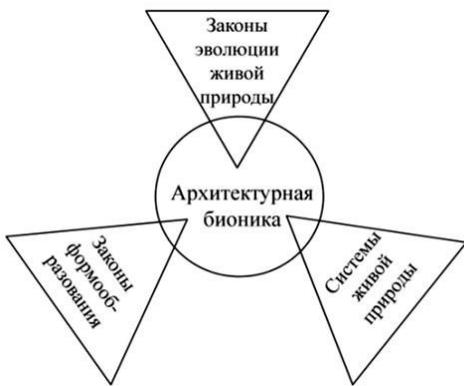


Рис. 2. Упрощенная структура архитектурной бионики
по Ю.С. Лебедеву

Функция в живой природе – это система биологических процессов, обеспечивающая жизнедеятельность организма (рост, питание, размножение) [7]. Хотелось бы отметить, что биологический организм в течение жизни не меняет структурного типа [8].



Рис. 3. Структурирование бионических объектов

Функция в архитектуре – способность к образованию благоприятных условий для человека с точки зрения биологического существования и организации общественной деятельности.

В архитектуре возможно изменение структурного типа без явного нарушения существования.

Ядро архитектурной бионики состоит из трех важнейших принципов формирования природоподобных зданий и сооружений:

- разрывная связь **форма** и архитектурная бионика – зрительное восприятие облика взятого из природы и отраженного в здании, сооружении или в их элементах;
- разрывная связь **функции** – функция объекта окружающей среды и применение в конструктивных решениях;
- стабильная связь формы и функции, способствующая **структурной целостности** в архитектурной бионике природоподобных зданий и сооружений.

4. Классификация адаптаций бионических объектов в архитектуре

После анализа, были выделены три направления развития бионических объектов (см. таблицу).

Объекты, воспроизводящие зрительное подобие формообразующих, взятых из окружающей среды, относятся к понятию «форма», связь «формы» и архитектурной бионики при этом возникает разрывная. Ресторан «Бермет» несет в себе внешние формы раковины моллюска, переход прямых углов к криволинейным органическим формам. Архитектурные объекты «Пламенные башни», транспортно-пересадочный узел «Окулус» и павильон *Hemisferic* включают в себя только внешнее сходство с формообразующими объектами.

Понятие «функция» в архитектурной бионике способствует проявлению свойств какого-либо объекта с точки зрения конструктивных решений в данной системе отношений.

Визуальная дифференциация многочисленных и разнообразных объектов естественной и искусственной среды обитания осуществляется особенностями формы соответствующей конструкции, результирующей ее работу, устойчивость к нагрузкам и перенесению сил [6, с. 9].

Классификация адаптаций бионических объектов в архитектуре

Формообразующий объект				
Архитектурный объект				
Адаптация	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Формообразующий объект			
Архитектурный объект			
Адаптация	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Примечание. – архитектурные объекты отвечающие признаку понятия «форма»; – архитектурные объекты отвечающие признаку понятия «функция»; – архитектурные объекты отвечающие признаку понятия «структурная целостность».

«Структурная целостность», совмещающая в себе два понятия – «форма» и «функция», при целостности применения данных понятий, способствует истинному формированию архитектурного пространства. Изогнутая крыша парковки павильона Volkswagen Austostadt, похожая на упавший с дерева лист, обеспечивает защиту автомобилей от внешний атмосферных осадков и воздействия прямых солнечных лучей. Дворец искусств королевы Софии также отвечает признакам понятия «структурная целостность». Очевидные внешние сходства с морским млекопитающим, а также аналогичность применения (уменьшение силы сопротивления движению атмосферного воздуха). Нос дельфина устроен так, что помогает ему развивать большую скорость во время плавания, уменьшая сопротивление с водой.

Заключение

Результатом исследования является: выявление основных тенденций, связанных с развитием бионики в различных отраслях, способствующих дальнейшему прогрессу и применению технологий в архитектурной бионике. Анализ бионических объектов позволяет создать начальную версию классификации и параметрического формообразования в архитектуре. Выдвинуты концептуальные предложения относительно структурной целостности формы и функции на примере изогнутой крыши парковки павильона Volkswagen Austostadt, похожей на упавший с дерева лист и Дворца искусств королевы Софии, совмещающей в себе подобие дельфина с точки зрения внешних сходств и процесса уменьшения силы трения во время аэродинамических воздействий на объект.

Список литературы

1. Ревякин, С. А. Принципы экореконструкции техногенных фрагментов архитектурной среды: на примере городов юга России : автореф. дис. ... канд. архитектуры. – Нижний Новгород, 2016. – 24 с.
2. Денисенко, Е. В. Принципы формирования архитектурного пространства на основе биоподходов : автореф. дис. ... канд. архитектуры. – Нижний Новгород, 2013. – 26 с.

3. *Бурлаков, К. В.* Особенности топологического формообразования в архитектуре рубежа ХХ–XXI веков : дис. ... канд. архитектуры. – Самара, 2011. – 133 с.
4. *Архитектурная бионика* / под ред. Ю. С. Лебедева. – Москва : Стройиздат, 1990. – 269 с.
5. *Архитектурная бионика* : сб. науч. трудов / сост. А. М. Брезловец ; науч. ред. Ю. С. Лебедев. – Москва : ЦНИИЭП жилища, 1989. – 130 с.
6. *Сапрыкина, Н. А.* Основы динамического формообразования в архитектуре : учеб. для вузов. – Москва : Архитектура-С, 2005. – 312 с.
7. *Лебедев, Ю. С.* Архитектура и бионика. – Москва : Стройиздат, 1971. – 120 с.
8. *Рэдклифф-Браун, А. Р.* Метод в социальной антропологии / пер. с англ. и заключ. ст. В. Николаева. – Москва : Канон-Пресс-Ц, Кучково поле, 2001. – 416 с.

МАТЕМАТИКА. ФИЗИКА. МЕХАНИКА

УДК 532.075

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИНТЕЗА СУБМИКРОННЫХ ЧАСТИЦ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ В ПРОТОЧНОМ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОМ РЕАКТОРЕ

С.М. Аульченко^{*}, Е.В. Картаев^{}, В.А. Емелькин^{***}**

В работе приведены результаты экспериментов по высокотемпературному синтезу субмикронного порошка диоксида кремния в плазмохимическом реакторе проточного типа, а также результаты численного расчета происходящих при этом процессов. По результатам синтеза линейки порошков оксида кремния, полученных при фиксированных рабочих режимных параметрах и варьировании расхода закалочного воздуха с реализацией режима встречной закалки, проведен анализ микроструктуры и физико-химических свойства образцов порошка. С использованием экспериментальных данных решена задача идентификации параметров математической модели, описывающей хлоридный синтез порошка диоксида кремния. Получено удовлетворительное соответствие расчетных и экспериментальных размеров синтезируемых частиц диоксида кремния.

Ключевые слова: плазмохимический реактор, хлорид и диоксид кремния, наночастицы, математическое моделирование, обратная задача.

Введение

Наноразмерные полупроводники на основе оксидов металлов, в частности диоксида кремния, потенциально имеют широкие области применения в различных технологиях, например, при конверсии солнечной энергии, в фотокатализе и оптоэлектронике вследствие зависимости их оптических и физико-химических характеристик от размера наночастиц [1]. Наноразмерный диоксид кремния SiO_2 широко применяется в качестве

^{*} Д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры теоретической механики НГАСУ (Сибстрин), вед. науч. сотрудник ИТПМ СО РАН

^{**} Канд. физ.-мат. наук, науч. сотрудник ИТПМ СО РАН

^{***} Канд. хим. наук, ст. науч. сотрудник ИТПМ СО РАН

адсорбента, носителя катализаторов, легкого строительного материала, в датчиках влажности, коллоидного демпфера [2], в роли армирующего агента в резинах и пластиках, а также полирующего компонента полупроводниковых подложек [3]. Одним из перспективных направлений в современных технологиях является использование нанокомпозитных порошков, в частности диоксида титана и диоксида кремния структуры «ядро-оболочка». В промышленных масштабах такого типа порошки производятся компанией Evonik Inc. методом высокотемпературного гидролиза. В России опытное плазмохимическое производство нанопорошков и их композиций налажено в компаниях «Плазмотерм» и «Передовые порошковые технологии», однако композитные порошки на основе диоксида титана и оксида кремния там не представлены.

В работе [4] приведены результаты экспериментов на лабораторной установке, созданной в ИТПМ СО РАН, в ходе которых получены образцы порошка SiO_2 , синтезированные одностадийным хлоридным способом. Эту же установку предполагается использовать для синтеза композитных наночастиц TiO_2 и SiO_2 хлоридным методом на основе раздельного окисления тетрахлоридов титана и кремния. В [5] моделируется синтез таких частиц для одного из вариантов значений параметров математической модели.

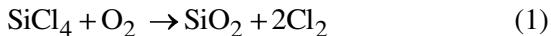
Так как в обобщенной модели синтеза наночастиц SiO_2 используются параметры, значения которых определены в некоторых диапазонах, а по ряду параметров нет, то актуальной является задача идентификации этих параметров для условий, в которых происходит синтез частиц.

Целью данной работы является получение данных о микроструктуре и физико-химических свойствах образцов порошка диоксида кремния в плазмохимическом реакторе проточного типа, синтезированного при различных режимах закалки конечного продукта и уточнение значений ряда параметров математической модели с использованием этой информации.

1. Эксперимент

На лабораторной установке, являющейся плазмохимическим реактором проточного типа [4], проведена серия экспериментов по высокотемпературному синтезу субмикронного порошка диоксида кремния. Целью экспериментов являлось получение данных о микроструктуре и физико-химических свойствах образцов порошка диоксида кремния, а также информации о температуре в ряде контрольных точек на оси канала.

Перед подачей прекурсоров в струю азотной плазмы реактора осуществлялось предварительное смешение реагентов – паров SiCl_4 и кислорода воздуха. В температурном интервале 1000–1500 °С кислород интенсивно реагирует с тетрахлоридом кремния с образованием паров двуокиси кремния и хлора по газофазной реакции [6]:



Кинетика химической реакции в газовой фазе и термодинамика равновесного состава конечной смеси продуктов приведена в [4].

На рис. 1 представлена геометрия рабочей части реактора.

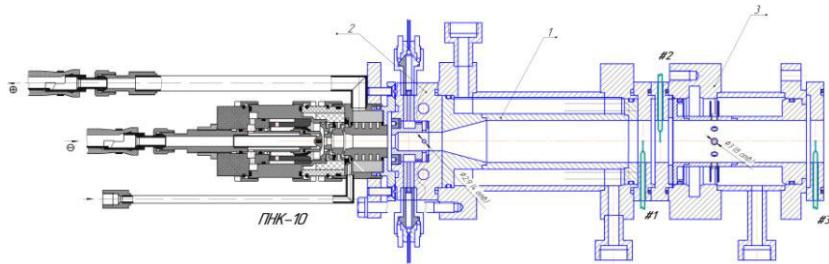


Рис. 1. Рабочая часть реактора с узлом закалки:

- 1 – водоохлаждаемая рабочая секция с диффузором (с увеличением диаметра канала от 14 мм до 32 мм);
- 2 – водоохлаждаемый узел инжекции смеси паров прекурсора SiCl_4 и воздуха (4 отверстия диаметром около 3 мм) в сборке с плазмотроном ПНК-10 с межэлектродной вставкой [7] номинальной мощностью 17 кВт;
- 3 – закалочная секция с 8 отверстиями для вдува закалочных воздушных струй диаметром 3 мм

Для измерения температур на оси канала в рабочих режимах без подачи смеси реагентов и с их подачей были установлены вставки с хромель-алюмелевыми термопарами #1, 2 выше по потоку от плоскости инжекции закалочных струй и #3 – ниже плоскости инжекции закалочных струй. В рабочих запусках с улавливанием нанопорошка термопары убирались, а вставки заглушались.

Пуски проводились при следующих заданных режимных параметрах:

- среднемассовая температура плазменной струи на срезе сопла плазмотрона 4300 К;
- расход плазмообразующего азота 1.23 г/с;
- расход смеси паров SiCl_4 и воздуха через узел инжекции 2–3.57 г/с;
- электрическая мощность 8.9 кВт, тепловая мощность 6.9 кВт;
- энталпия плазменной струи $0.564 \cdot 10^7$ Дж/кг.

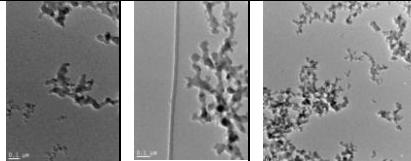
Оценка среднемассовой температуры смешения плазмообразующего азота и смеси паров SiCl_4 и воздуха дает величину ~ 1750 К, что достаточно для практически полного прохождения реакции окисления паров SiCl_4 в рабочей секции реактора.

Варьируемым режимным параметром являлся расход закалочных струй, с помощью которого осуществлялось управление глубиной осевого проникновения встречной закалочной струи, образованной столкновением воздушных струй в канале закалочного узла 3, с горячим сносящим потоком. Три расхода закалочного воздуха – 1.8, 4.1 и 8.1 г/с – определяли интенсивность закалки конечного продукта – наночастиц оксида кремния.

В таблице приведены данные о микроструктуре и физико-химических свойствах образцов порошка, состоящих из аморфных частиц SiO_2 . Результаты анализа образцов показывают, что: 1) возможно управление физико-химическими свойствами порошка и морфологией его частиц варьированием глубиной встречной закалки; 2) удельная поверхность частиц увеличивается, а их характерный размер уменьшается с ростом отношения гидродинамических напоров закалочных струй и горячего сно-

сящего потока; 3) доля загрязняющего хлора в конечном продукте уменьшалась с увеличением данного отношения за счет разбавления закалочными струями.

Микроструктура и физико-химические свойства образцов порошка SiO_2

Расход закалочных воздушных струй, г/с	1.8	4.1	8.1
Удельная поверхность S_{BET} , м ² /г (БЭТ, прибор «Сорби-М»)	70	73	96
Средний размер частиц, рассчитанный по удельной поверхности d_{BET} , нм	39	37.4	28.4
Доля загрязняющего хлора в образце порошка C_{Cl} , атом. % (электронная дифрактометрия, JEM-2200FS)	0.38	0.12	0.13
Фото образцов порошка оксида кремния (СЭМ, JEM-2200FS)			

2. Математическое моделирование синтеза наночастиц диоксида кремния

В области, представленной на рис. 2, моделируется течение вязкой теплопроводной смеси газов. Компоненты смеси – O_2 , N_2 , SiCl_4 , SiO_2 , Cl_2 . Две последние компоненты появляются в результате обобщенной химической реакции (1).

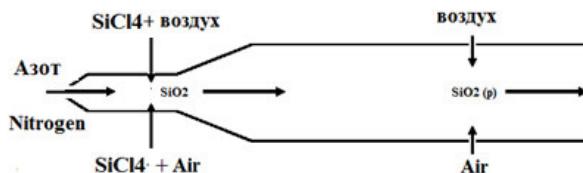


Рис. 2. Расчетная область

Рассматривается одножидкостный режим течения, который моделируется с помощью системы квазигазодинамических уравнений. С учетом внешних сил и источников тепла эта система имеет вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div} \mathbf{j} &= 0, \\ \frac{\partial \rho \mathbf{u}}{\partial t} + \operatorname{div} (\mathbf{j} \otimes \mathbf{u}) + \nabla p &= \rho \mathbf{F} + \operatorname{div} \boldsymbol{\Pi}, \\ \frac{\partial E}{\partial t} + \operatorname{div} (\mathbf{j} H) + \operatorname{div} \mathbf{q} &= \mathbf{j} \cdot \mathbf{F} + \operatorname{div} (\boldsymbol{\Pi} \cdot \mathbf{u}) + N, \\ \mathbf{j} &= \rho \mathbf{u} - \tau [\operatorname{div} (\rho \mathbf{u} \otimes \mathbf{u}) + \nabla p - \rho \mathbf{F}]. \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь p – давление, ρ – плотность, \mathbf{u} – вектор скорости смеси, \mathbf{q} – тепловой поток, \mathbf{F} – вектор плотности массовой силы (в расчетах равен нулю), $\boldsymbol{\Pi}$ – тензор вязких напряжений, E – полная энергия единицы объема; H – полная удельная энталпия; N – удельная мощность тепловыделения, τ – параметр релаксации.

К этой системе добавляются уравнения неразрывности для компонент смеси:

$$\frac{\partial \rho_i}{\partial t} + \operatorname{div} \mathbf{j}^i = \sum_j J^{(ji)}. \quad (3)$$

В правых частях уравнений (3), (4) учтены следующие кинетические соотношения, описывающие изменение концентраций тетрахлорида кремния, диоксида кремния в газовой и твердой фазах за счет гомогенной, гетерогенной реакций и фазового перехода:

$$\begin{aligned} \frac{dC_1}{dt} &= -k_g + k_s A C_1, \\ \frac{dC_2}{dt} &= k_g C_1 - k_p C_2, \\ \frac{dC_3}{dt} &= k_s C_1 A + k_p C_2. \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь C_1 , C_2 , C_3 – концентрации тетрахлорида кремния, диоксида кремния в газовой и твердой фазах, k_g , k_s , k_p – скорости гомогенной, гетерогенной реакций и фазового перехода, A – площадь поверхности частиц.

Если к соотношениям (2) – (5) добавить уравнение для числа частиц [8]

$$\frac{dN_p}{dt} = k_g C_1 N_{av} - \beta \frac{N_p^2}{2},$$

то, с учетом известного их начального диаметра $d_0 = 0.2$ нм, можно рассчитать средний диаметр частиц в элементарном объеме в произвольный момент времени.

Скорости реакций в форме Аррениуса содержат два параметра – энергию активации и предэкспоненциальный множитель. В выражение для параметра коагуляции, согласно [8] зависящего от диаметра частиц, их скорости и коэффициента диффузии броуновской частицы, также входит неизвестный коэффициент β_0 .

На стенках реактора выполняются условия прилипания и отсутствия потока. Для струй задаются расход и температура. Для вычисления значений давления, плотности и скорости на входных границах струй используются граничные условия, основанные на использовании инвариантов Римана для уравнений Эйлера.

3. Постановка обратной задачи

Определение параметров математической модели является сложной задачей, так как в плазмохимическом реакторе одновременно происходит несколько процессов: гомогенная и гетерогенная реакции, нуклеация и коагуляция. Измерению часто доступна только часть участвующих в реакциях веществ, а также продуктов реакций и других форм взаимодействия. Так, для рассматриваемой модели синтеза наночастиц SiO_2 в литературе имеются разные значения предэкспоненциального множителя и энергии активации для скорости гомогенной реакции:

$A^g = 8.0 \cdot 10^{14}$ 1/c, $E^g = 401$ кДж/моль, [9] и $A^g = 1.7 \cdot 10^{14}$ 1/c и $E^g = 410$ кДж/моль [10], отсутствует информация по аналогичным параметрам A^s и E^s для гетерогенной реакции. Скорость нуклеации предположительно сопоставима со скоростью гомогенной реакции, и нет информации о параметре коагуляции. Для того чтобы восстановить параметры, была решена следующая обратная задача.

В рамках выбранной модели, с учетом предположения о равенстве скоростей нуклеации и гомогенной реакции, процесс синтеза определяется пятью параметрами, входящими в обобщенную модель: A^g , E^g , A^s , E^s и β_0 .

Формируется функционал

$$F = \frac{1}{N_e} \sum_{i=1}^{N_e} \frac{1}{N_p} \sqrt{\sum_{k=1}^{N_p} \left(\frac{d_{ik}^e - d_{ik}^c}{d_{ik}^e} \right)^2}. \quad (5)$$

Здесь N_e – количество экспериментов, N_p – количество контрольных точек, в которых производились измерения размеров частиц, d_{ik}^e , d_{ik}^c – диаметры частиц, полученные в результате экспериментальных данных и расчетов соответственно. В качестве экспериментальных данных использованы результаты измерений размеров частиц на выходе из реактора, приведенные в таблице, и размеры частиц в области выше по потоку от плоскости вдува закалочных струй.

Идентификация модели как решение обратной задачи сводится к минимизации функции многих переменных (5) по параметрам A^g , E^g , A^s , E^s и β_0 . Используемый в данной работе метод минимизации можно охарактеризовать как неградиентный метод поиска с адаптацией и использованием элемента случайности. Он реализован в виде специализированного комплекса программ, синтезированного на основе модифицированных методов врачающихся координат, направляющего конуса и матричного спуска [11–13].

4. Результаты расчетов

При решении задачи минимизации получены следующие значения искомых параметров: $A_{onm}^g = 5.894 \cdot 10^{14}$ 1/c, $E_{onm}^g = 403.6$ кДж/моль, $A_{onm}^s = 3.48 \cdot 10^{13}$ 1/c, $E_{onm}^s = 339.8$ кДж/моль и $\beta_{0, onm} = 0.271$.

Ниже приведены экспериментальные и расчетные значения диаметров частиц:

$$d_{11}^e = 16.3 \text{ нм}, \quad d_{11}^c = 18.8 \text{ нм}, \quad d_{12}^e = 39 \text{ нм}, \quad d_{12}^c = 34.9 \text{ нм}, \\ d_{21}^e = 22.4 \text{ нм}, \quad d_{21}^c = 22.0 \text{ нм}, \quad d_{22}^e = 37.4 \text{ нм}, \quad d_{22}^c = 34.2 \text{ нм}, \\ d_{32}^e = 28.4 \text{ нм}, \quad d_{32}^c = 30.0 \text{ нм}.$$

Экспериментальные данные d_{31}^e не были получены и в расчетах не участвовали. Относительные погрешности в контрольных точках: $\delta_{11} \approx 15\%$, $\delta_{12} \approx 10\%$, $\delta_{21} \approx 2\%$, $\delta_{22} \approx 8\%$ и $\delta_{32} \approx 5\%$.

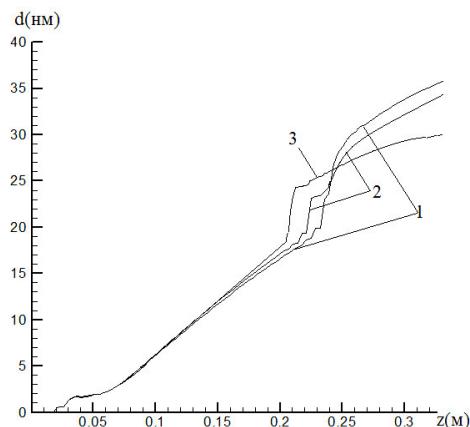


Рис. 3. Распределение вдоль реактора средних по сечению значений диаметра частиц. Расход закалочной струи:
1 – 1.8 г/с; 2 – 4.1 г/с; 3 – 8.1 г/с

На рис. 3 приведено распределение вдоль реактора среднезвешенного диаметра наночастиц SiO_2 , полученное с использованием значений параметров модели, выведенных из решения обратной задачи. Погрешности приближения экспериментальных данных и вид кривых 1–3 на рис. 3, отражающий влияние расхода закалочной струи, позволяют сделать вывод об удовлетворительном уровне идентификации модели.

Заключение

Результаты экспериментов демонстрируют возможность синтеза субмикронных частиц диоксида кремния одностадийным способом хлоридным методом в плазмохимическом реакторе проточного типа. Показана возможность управления размерами частиц с помощью противоточной закалочной струи.

Математическое моделирование, ставшее неотъемлемой частью научных исследований в области естествознания, предполагает создание и совершенствование используемых моделей изучаемых процессов и, как следствие, определение значений входящих в эти модели параметров. Наряду с экспериментальными и теоретическими способами прямого определения этих параметров можно использовать подходы, основанные на решении обратных задач. При этом, конечно, надо учитывать возможную некорректность постановок обратных задач, причиной которой, как правило, является неполнота информации, приводящая к неединственности решения и наличию локальных экстремумов у целевого функционала.

В результате решения поставленной обратной задачи были получены значения параметров модели, с использованием которых удается удовлетворительно прогнозировать размер частиц диоксида кремния при их синтезе в плазмохимическом реакторе. Эти данные могут быть использованы для уточнения модели синтеза композитных наночастиц $\text{TiO}_2 - \text{SiO}_2$ хлоридным методом на основе раздельного окисления тетрахлоридов титана и кремния.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 18-08-00219-а).

Список литературы

1. *Dhas, N. A., Gedanken, A.* A sonochemical approach to the surface synthesis of cadmium sulfide nanoparticles on submicron silica // Applied Physics Letters. – 1998. – Vol. 72, № 20. – P. 2514–2516.
2. *Sadivasan, S., Rasmussen, D. H., Chen, F. P., Kannabiran, R. K.* Preparation and characterization of ultrafine silica // Colloids and Surfaces A. – 1998. – Vol. 132, No. 1. – P. 45–52.
3. *Park, H. K., Park, K. Y.* Control of Particle Morphology and Size in Vapor-Phase Synthesis of Titania, Silica and Alumina Nanoparticles // KONA Powder Particle Journal. – 2015. – № 32. – P. 85–101.
4. *Kartaev, E. V., Emelkin, V. A., Aulchenko, S. M.* High-temperature synthesis of silica particles by the chloride method in the regime of counter flow jet quenching [Электронный ресурс] // AIP Conf. Proc. (2017) 1893, 030056-1–030056-7. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1063/1.5007514>
5. *Аульченко, С. М., Картавев, Е. В.* Моделирование синтеза композитных частиц наночастиц диоксида титана и оксида кремния в плазмохимическом реакторе // Доклады Академии наук высшей школы РФ. – 2017. – № 2(35). – С. 7–17.
6. *Powers, D. R.* Kinetics of SiCl₄ oxidation // Journal of American Ceramic society. – 1978. – Vol. 61, № 7–8. – P. 295–297.
7. *Kuzmin, V. I., Mikhachenko, A. A., Kovalev, O. B., Kartaev, E. V., Rudenskaya, N. A.* Technique of formation of an axisymmetric heterogeneous flow during thermal spraying of powder materials // Journal of Thermal Spray Technology. – 2012. – Vol. 21, № 1. – P. 159–168.
8. *Kolesnikov, A., Kekana, J.* Nanopowders Production in the Plasmachemical Reactor: Modelling and Simulation // International Journal of Chemical Reactor Engineering. – 201119789. – Article A 83.

9. French, W. G., Pace, L. J., Foertmeyer, V. A. Chemical kinetics of the reactions of SiCl₄, SiBr₄, Ge Cl₄, POCl₃, and BCl₃, with oxygen // J. Phys. Chem. – 1978. – Vol. 82. – P. 2191–2193.
10. Powers, D. R. Kinetics of SiCl₄ oxydation // J. Am. Ceram. Soc. – 1978. – Vol. 61. – P. 295–297.
11. Курейчик, В. М., Лебедев, Б. К., Лебедев, О. Б. Поисковая адаптация: теория и практика. – Москва : Физматлит, 2009. – 272 с.
12. Химмельблау, Д. Прикладное нелинейное программирование. – Москва : Мир, 1975. – 534 с.
13. Васильев, Ф. П. Численные методы решения экстремальных задач. – Москва : Наука, 1988. – 552 с.

ВОЗМОЖНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ОЧИСТКИ СТОЧНОЙ ЖИДКОСТИ ГОРОДА БОЛОТНОЕ

Д.В. Балчугов*, Д.В. Тихонова**, Е.И. Яковлева**

В настоящее время в городе Болотное Новосибирской области проживает около 16000 человек, при этом общее количество питьевой воды, подаваемой населению, составляет около 2000 м³/сут. В городе имеется ряд предприятий с собственными водозаборными сооружениями. Один микрорайон города, ранее принадлежавший воинской части, канализован и сбрасывает свои стоки на локальные очистные сооружения канализации, которые эксплуатируются с 1967 г. Остальная часть стоков города сбрасывается в выгребные ямы. Из них они вывозятся ассенизационными машинами (25 рейсов в сутки) на стихийно организованные биологические пруды, состоящие из четырех ступеней с последующим их отводом в реку Болотная. В связи со сложившейся ситуацией администрация города обратилась к специалистам Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета с просьбой сделать проект очистных сооружений канализации для стоков со всего города. Согласно этой заявке специалисты НГАСУ (Сибстрин) разработали и предлагают три технологические схемы очистных сооружений канализации (ОСК) для приема и очистки стоков города Болотное. Работа выполнена в соответствии с имеющимся техническим заданием.

Ключевые слова: очистка стоков, сточная жидкость, технологическая схема, очистные сооружения канализации.

Введение

Согласно техническому заданию, выданному НГАСУ (Сибстрин), необходимо запроектировать очистные сооружения канализации для города Болотное Новосибирской области в две очереди: первая на пропуск сточной жидкости в количестве 2400 м³/сут, вторая – 1300 м³/сут, общая производительность очистных сооружений канализации – 3700 м³/сут. Проектные показатели сточной жидкости: биологическое потребление кислорода (БПК_{поп}) 250 мг/л, взвешенные вещества 220 мг/л, азот

* Начальник управления научно-исследовательских работ НГАСУ (Сибстрин)

** Магистрант кафедры ЮНЕСКО НГАСУ (Сибстрин)

аммония (по N) 30 мг/л, фосфор (по P) 3,3 мг/л, температура 20 °C для лета и 15 °C для зимы, pH 7,5. Основные гидротехнические сооружения (первичные отстойники, аэротенки и вторичные отстойники) предусмотрены железобетонными. Принятая современная технология очистки стоков предусматривает снижение в стоках до ПДК шести показателей: БПК_{пол} (6 мг/л), взвешенные вещества (1,5 мг/л), азот аммония (0,4 мг/л), азот нитритов (0,02 мг/л), азот нитратов (9,1 мг/л), фосфор (0,2 мг/л). Специалисты НГАСУ (Сибстрин) считают необходимым при разработке проектной документации обязательное уточнение качества исходной сточной жидкости по всем шести показателям.

1. Постановка задачи

В задачи предварительных проектных работ входила разработка эффективных, стабильных и экономически выгодных технологических схем для снижения в сточной жидкости взвешенных веществ, БПК, фосфора и азота. Для расчета очистных сооружений канализации использована справочная литература [1–4] и методические указания, разработанные специалистами кафедры «Водоснабжение и водоотведение» НГАСУ (Сибстрин) [5–9].

В первом варианте (рис. 1) предусмотрен комплекс, включающий механическую, биологическую очистку стоков, с последующей их доочисткой в микрофильтрах и песчаных фильтрах с обеззараживанием и насыщением сточной жидкости кислородом. В состав сооружений механической очистки входят: приемная камера, решетки, аэрируемые песководки, резервуарусреднитель, первичные вертикальные отстойники. Биологическая очистка стоков будет осуществляться в сооружениях, предназначенных для удаления азота методом нитрификации и денитрификации с последующим разделением иловой смеси во вторичных вертикальных отстойниках. Для доочистки стоков предусмотрены микрофильтры и напорные песчаные фильтры, загруженные фильтрующим материалом: песком, альбитофирам или горелой породой (по выбору заказчика). На этой стадии очистки стоков предполагается удалять фосфор реагентным способом. Обеззараживание сточной жидкости осуществляется

методом ультрафиолетового облучения. После обеззараживания очищенная сточная жидкость насыщается кислородом в барботажном устройстве и сбрасывается в водоем. Принятый вариант очистки сточной жидкости обеспечивает достижение ПДК по всем вышенназванным шести показателям. Промывную воду фильтров, перед возвратом в голову сооружений, рекомендуется из резервуара грязной воды (РГВ) направлять в отделители кристаллов. Осевшие кристаллы ортофосфорной кислоты и частицы активного ила, выносимые из вторичных отстойников, обезвоживаются на фильтр-прессах, а обезвоженный осадок размещается на специализированных полигонах химического осадка.

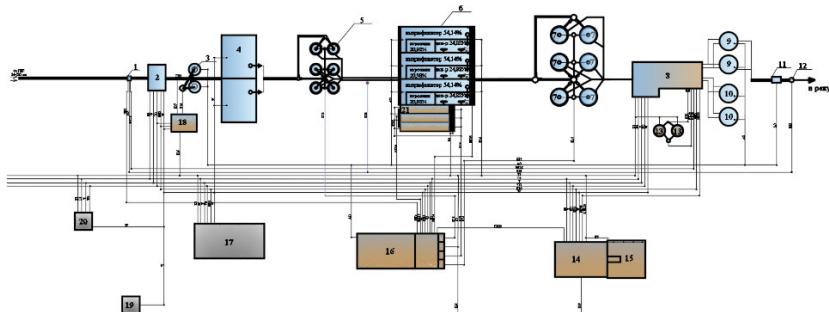


Рис. 1. Технологическая схема очистки сточных вод г. Болотное (I вариант): 1 – приемная камера; 2 – здание решеток; 3 – горизонтальная песколовка с круговым движением воды; 4 – резервуар-усреднитель; 5 – первичные вертикальные отстойники; 6 – нитрификатор-денитрификатор; 7 – вторичные вертикальные отстойники; 8 – цех доочистки; 9 – резервуар чистой воды; 10 – резервуар грязной воды; 11 – барботажное устройство; 12 – выпуск; 13 – отделитель кристаллического осадка; 14 – цех механического обезвоживания; 15 – площадка кека; 16 – насосная и воздуходувная станция; 17 – административно-бытовой комплекс; 18 – бункер песка; 19 – трансформаторная подстанция; 20 – проходная; 21 – аэробный стабилизатор

Для обработки осадка предусмотрен метод аэробной стабилизации, который относится к простым, безопасным и надежным. Стабилизированный осадок хорошо отдает воду, требует

меньшего расхода флокулянта при механическом обезвоживании осадка и меньших площадей при естественном обезвоживании, однако этот способ относится к числу самых энергоемких.

Второй вариант (рис. 2) включает в себя те же сооружения по очистке сточной жидкости, но вместо первичных вертикальных отстойников предлагается осветлитель-перегниватель, предназначенный не только для осветления сточной жидкости, но и обработки осадка в анаэробных условиях.

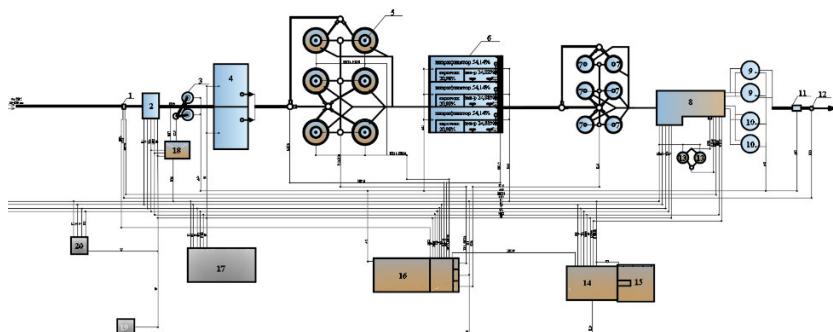


Рис. 2. Технологическая схема очистки сточных вод г. Болотное (II вариант): 1 – приемная камера; 2 – здание решеток; 3 – горизонтальная песколовка с круговым движением воды; 4 – резервуар-усреднитель; 5 – осветлители-перегниватели; 6 – нитрификатор-денитрификатор; 7 – вторичные вертикальные отстойники; 8 – цех доочистки; 9 – резервуар чистой воды; 10 – резервуар грязной воды; 11 – барботажное устройство; 12 – выпуск; 13 – отделитель кристаллического осадка; 14 – цех механического обезвоживания; 15 – площадка кека; 16 – насосная и воздуходувная станция; 17 – административно-бытовой комплекс; 18 – бункер песка; 19 – трансформаторная подстанция; 20 – проходная

Анаэробный метод обработки осадка относится к числу самых малоэнергоемких, а при использовании биогаза и одним из самых выгодных методов. Однако основным недостатком этого метода является высокая степень взрывоопасности. Кроме того, анаэробно сброженный осадок плохо отдает воду, требует большего расхода флокулянта при механическом обезвожива-

ния и больших площадей при естественном обезвоживании на иловых площадках, а иловая вода, обогащенная азотом (до 500–800 мг/л) и фосфором (150–250 мг/л), возвращаемая в голову сооружений в виде фильтрата, фугата или дренажной воды на повторную очистку, приводит к значительному увеличению этих показателей в исходной сточной жидкости.

В цепочке по воде на стадии доочистки напорный фильтр заменен на современный более дешевый в строительстве и эксплуатации биореактор с носителями прикрепленных микроорганизмов. После биореактора предлагается устройство микрофильтра с ячейками 30×30 мкм. Такое сочетание сооружения и оборудования также обеспечивает доведение всех шести показателей до ПДК.

Многолетняя практика эксплуатации ОСК малой производительности показала, что при небольшом притоке сточной жидкости она будет охлаждаться как в канализационных сетях, так и в открытых сооружениях (первичные отстойники, аэротенки и вторичные отстойники). Причем в зимнее время, особенно в самый холодный месяц январь, температура сточной жидкости может опускаться до значений, при которых биологическая очистка оказывается невозможной.

Третий вариант очистных сооружений канализации (рис. 3) предусматривает как раз исключение чрезмерного охлаждения сточной жидкости в первичных, вторичных отстойниках и аэротенках, поэтому их предлагается располагать в отапливаемом помещении. Более того, рекомендуется в самые холодные дни подогревать сточную жидкость. Для уменьшения теплопотерь в окружающую среду, рекомендуется к основному зданию примкнуть здания решеток, узла доочистки стоков, цеха механического обезвоживания осадка и насосно-воздуходувной станции. Административно-бытовой комплекс, включающий кабинеты начальника, технолога, механика, лаборатории, комнаты приема пищи, а также прачечную и душевые, желательно устраивать отдельно от производственных помещений для создания более комфортных условий обслуживающему персоналу.

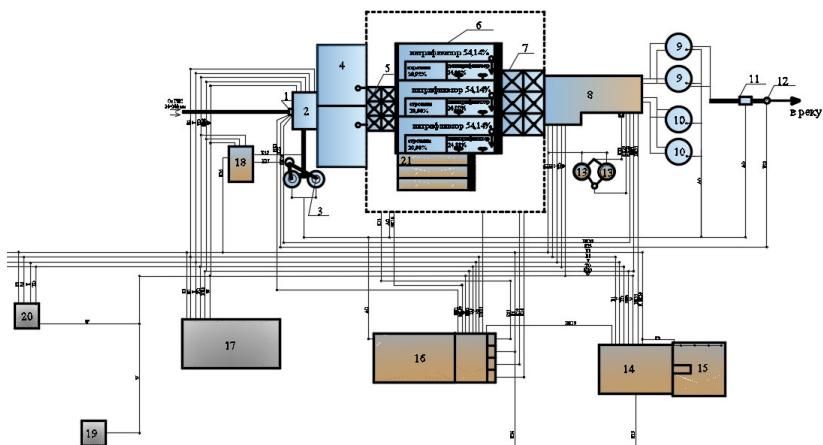


Рис. 3. Технологическая схема очистки сточных вод г. Болотное (III вариант): 1 – приемная камера; 2 – здание решеток; 3 – горизонтальная песколовка с круговым движением воды; 4 – резервуар-усреднитель; 5 – первичные вертикальные отстойники; 6 – нитрификатор-денитрификатор; 7 – вторичные вертикальные отстойники; 8 – цех доочистки; 9 – резервуар чистой воды; 10 – резервуар грязной воды; 11 – барботажное устройство; 12 – выпуск; 13 – отделитель кристаллического осадка; 14 – цех механического обезвоживания; 15 – площадка кека; 16 – насосная и воздуходувная станция; 17 – административно-бытовой комплекс; 18 – бункер песка; 19 – трансформаторная подстанция; 20 – проходная; 21 – аэробный стабилизатор

В этом варианте основные сооружения также выполняются из бетона, но не круглые в плане, а прямоугольные для уменьшения размеров отапливаемого павильона. Обработка осадка будет производиться в аэробных стабилизаторах, которые можно устроить за пределами отапливаемого помещения, но с обязательным утеплением перекрытия и подогревом осадка. Для подогрева можно предусмотреть водяные нагреватели как внутри аэробного стабилизатора, так и за его пределами. С точки зрения обслуживания второй вариант более удобный в эксплуатации.

Заключение

Разработаны и предложены три различных варианта технологических схем для ОСК города Болотное на полную биологическую очистку, с доочисткой и удалением фосфора, с помощью физико-химического метода.

Список литературы

1. *СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения / Госстрой СССР.* – Москва : ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 72 с.
2. *Лапицкая, М. П., Зуева, Л. И., Балаескул, Н. М., Кулешова, Л. В. Очистка сточных вод: Примеры расчетов.* – Минск : Высшая школа А, 2007. – 255 с.
3. *Яковлев, С. В., Карелин, Я. А., Жуков, А. И., Колобанов, С. К. Канализация : учеб. для вузов.* – Москва : Стройиздат, 1976. – 632 с.
4. *Канализация населенных мест и промышленных предприятий: справочник проектировщика / под ред. В. Н. Самохина.* – Москва : Стройиздат, 1981. – 630 с.
5. *Амбросова, Г. Т., Сколубович, Ю. Л., Николаев, Е. Ю., Цветкова, О. П., Балабанова, А. В. Очистные сооружения канализации : метод. указания. Ч. 4 : Рекомендации по компоновке очистительных сооружений.* – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2004. – 45 с.
6. *Амбросова, Г. Т., Николаев, Е. Ю., Гириков, О. Г., Цветкова, О. П., Гвоздев, В. А. Очистные сооружения канализации (сооружения механической очистки) : метод. указания.* – Новосибирск : НГАСУ, 2002. – 53 с.
7. *Амбросова, Г. Т., Николаев, Е. Ю., Гвоздев, В. А. Очистные сооружения канализации (сооружения биологической очистки) : метод. указания.* – Новосибирск : НГАСУ, 2002. – 42 с.
8. *Амбросова, Г. Т., Николаев, Е. Ю., Гвоздев, В. А. Очистные сооружения канализации (сооружения обработки осадка) : метод. указания.* – Новосибирск : НГАСУ, 2003. – 48 с.
9. *Амбросова, Г. Т., Цветкова, О. П., Ксенофонтова, О. В., Гребенникова, Н. М., Бойко, Т. А. Очистные сооружения канализации : метод. указания. Ч. 5 : Расчет нитрификатора-денитрификатора .* – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2005. – 32 с.

ФИЛЬТРАЦИЯ АНОМАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ – КАКОЙ АЛГОРИТМ ЛУЧШЕ?

Ю.Е. Воскобойников*

В работе выполнены исследования эффективности двух классов алгоритмов фильтрации: локально-пространственных алгоритмов и алгоритмов вейвлет-фильтрации для обработки аномальных измерений. Показано, что наилучшим является комбинированный алгоритм, сочетающий в себе достоинства медианного и интервального фильтров. Даются рекомендации по применению рассмотренных алгоритмов на практике.

Ключевые слова: аномальные измерения, локально-пространственные фильтры, алгоритмы вейвлет-фильтрации, эффективность алгоритмов фильтрации аномальных измерений.

Введение

Часто используемые на практике алгоритмы фильтрации дискретных сигналов, искаженных шумами, можно условно разделить на два класса:

- алгоритмы фильтрации в пространственной области;
- алгоритмы фильтрации в частотной области.

Результат фильтрации алгоритмами первого класса определяется преобразованием значений исходного изображения, попавших в апертуру (окно) фильтра [1, 2]. Такими преобразованиями может быть вычисление среднего значения, медианы или других числовых характеристик. Описанные алгоритмы фильтрации в дальнейшем для краткости будем называть *локально-пространственными фильтрами* (ЛПФ).

В алгоритмах фильтрации второго класса обработке подвергаются коэффициенты разложения зашумленного сигнала по некоторой системе базисных функций. В последние два десятилетия для фильтрации зашумленных сигналов и изображений широко используются разложения в базисе вейвлет-функций [3–5]. Алгоритмы фильтрации, основанные на обработке коэф-

* Д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры прикладной математики НГАСУ (Сибстринг)

фициентов вейвлет-разложений, в дальнейшем будем называть алгоритмами вейвлет-фильтрации (АВФ).

Очевидно, что использование того или иного алгоритма фильтрации определяется статистической природой шума, более точно – той математической моделью, которая достаточно адекватно описывает статистические свойства шума.

На практике наиболее часто используется модель равноточных измерений (обозначим эту модель шума как РИ), когда все шумы измерения имеют нулевое среднее, одинаковую дисперсию σ^2 и не коррелированы друг с другом (однородный шум). Для фильтрации таких шумов чаще всего используют Фурье-фильтрацию или вейвлет-фильтрацию с выбором значений соответствующих параметров для минимизации ошибки фильтрации [4, 6].

Модель аномальных измерений (обозначим как АИ) предполагает наличие в каждом измерении одного из двух шумов: или шум с нулевым средним и дисперсией σ^2 (вероятность появления такого шума равна $1 - P$) или с нулевым средним и дисперсией $C\sigma^2$ (вероятность появления равна P), где $C >> 1$ (импульсный шум). В зарубежной литературе такую модель часто называют «соль + перец». В работах [7, 8] было показано, что алгоритмы вейвлет-фильтрации имеют низкую эффективность обработки аномальных измерений.

Поэтому целями данной работы являются:

- исследование точности ЛПФ и АВФ по результатам фильтрации разных (по структуре и гладкости) дискретных одномерных сигналов, искаженных шумами, описываемых моделями РИ и АИ;
- построение робастного алгоритма фильтрации, который был бы не чувствителен (т.е. был бы «грубым») к нарушениям априорного предположения о равноточных измерениях.

Другими словами, надо дать ответ на вопрос: какой алгоритм нужно использовать для эффективной фильтрации аномальных измерений.

1. Алгоритмы вейвлет-фильтрации

Алгоритмы вейвлет-фильтрации используют так называемое многомасштабное разложение функции $f(t)$ вида [9]:

$$\hat{f}(t) = \sum_k a_{J,k} \varphi_{J,k}(t) + \sum_{j=j_0+1}^{j_0+J} \sum_k d_{j,k} \psi_{j,k}(t). \quad (1)$$

Функции $\{\varphi_{j,k}(t)\}$ называют масштабирующими (или отцовскими), а функции $\{\psi_{j,k}(t)\}$ – вейвлет-функциями (или материнскими), j_0 – начальный уровень разложения, J – максимальный уровень разложения. Коэффициенты разложения $a_{j,k}$ называют аппроксимирующими, $d_{j,k}$ – детализирующими, и они определяются выражениями:

$$a_{j,k} = \int_R f(t) \varphi_{j,k}(t) dt, \quad d_{j,k} = \int_R f(t) \psi_{j,k}(t) dt,$$

где R – интервал определения функции $f(t)$. Переменная j характеризует уровень разложения, и ее часто называют коэффициентом масштаба, а переменная k – временной сдвиг той или иной базисной функции. Построение и свойства базисных функций $\{\varphi_{j,k}(t)\}, \{\psi_{j,k}(t)\}$ рассмотрены в ряде публикаций (например, [3, 10]).

Алгоритм вейвлет-фильтрации сигналов с использованием вейвлет-разложения включает три этапа:

1. Вычисление прямого дискретного вейвлет-преобразования значений $\tilde{f}_i = \tilde{f}(t_i)$ «зашумленной» функции $\tilde{f}(t)$, т.е. нахождение коэффициентов разложения $\tilde{d}_{j,k}, \tilde{a}_{J,k}$.

2. Обработка «зашумленных» коэффициентов $\tilde{d}_{j,k}$, т.е. построение оценок $\hat{d}_{j,k}, \hat{a}_{J,k}$ для неизвестных «точных» коэффициентов разложения $d_{j,k}, a_{J,k}$.

3. Вычисление обратного дискретного вейвлет-преобразования, т.е. нахождение значений «отфильтрованной» функции (1) в заданных узлах t_i с использованием оценок $\hat{d}_{j,k}, \hat{a}_{J,k}$.

Ошибка фильтрации зашумленного сигнала определяется алгоритмами обработки второго этапа. Большинство используемых алгоритмов носят пороговый характер: коэффициент разложения, меньший по абсолютной величине некоторой пороговой величины, зануляется, в противном случае этот коэффициент сохраняется или подвергается преобразованию. Заметим, что такой обработке подвергаются только детализирующие коэффициенты разложения $\tilde{d}_{j,k}$, так как аппроксимирующие коэффициенты $\tilde{a}_{J,k}$ имеют относительную ошибку существенно меньше, чем детализирующие [4, 6].

В работе [8] было показано, что наилучшую потенциальную точность имеет пороговая функция (получившая название *hyperbole*) вида:

$$T_{HP}(\tilde{d}, \lambda) = \begin{cases} sign(\tilde{d}) \cdot \sqrt{\tilde{d}^2 - \lambda^2}, & \text{если } |\tilde{d}| \geq \lambda, \\ 0, & \text{если } |\tilde{d}| < \lambda, \end{cases} \quad (2)$$

где λ – величина порога. Очевидно, что от выбора величины порога λ зависит ошибка фильтрации. Существует несколько способов выбора этой пороговой величины (например, [4–6]). В данной работе использовалась уровнезависимая пороговая величина

$$\lambda_j = \beta \cdot \sqrt{2 \ln(N_j)},$$

где N_j – количество обрабатываемых коэффициентов на j -м уровне разложения, β – множитель, от величины которого зависит ошибка фильтрации.

В работе [11] был предложен подход, основанный на проверке статистической гипотезы об оптимальности алгоритма

вейвлет-фильтрации и позволяющий с высокой точностью оценить оптимальное значение β_{opt} , минимизирующе среднеквадратическую ошибку (СКО) фильтрации. Заметим, что точное определение β_{opt} является возможным только в вычислительном эксперименте, так как требует задания точных значений функции $f_i = f(t_i)$, которые на практике неизвестны. Погрешность оценивания β_{opt} таким способом составляет 5–10 % (подробнее см. [4, 11]). Построенную оценку обозначим как β_w , и тогда пороговая величина при обработке коэффициентов разложения на j -м уровне разложения определяется выражением:

$$\lambda_j^w = \beta_w \cdot \sqrt{2 \ln(N_j)}. \quad (3)$$

Показано [4, 6], что пороговая величина (3) позволяет получать ошибку вейвлет-фильтрации меньше, чем другие способы выбора порогов.

2. Локально-пространственные фильтры

Для пояснения принципа работы этих фильтров [1] предположим, что даны значения некоторого зашумленного одномерного сигнала $\tilde{f}_j = f_j + \eta_j$, $j = 1, \dots, N$, где η_j – случайный шум (погрешность) с нулевым средним и дисперсией σ^2 , т.е. модель измерений РИ.

Фильтр скользящего среднего. Выходной сигнал \hat{f}_j^{FCC} фильтра скользящего среднего определяется соотношением

$$\hat{f}_j^{FCC} = aver_K(\tilde{f}_{j-K}, \tilde{f}_{j-K+1}, \dots, \tilde{f}_j, \dots, \tilde{f}_{j+K}) = \frac{1}{2K+1} \sum_{i=-K}^K \tilde{f}_{j+i}, \quad (4)$$

где $aver_K()$ – функция, вычисляющая среднее значение из $2 \cdot K + 1$ значений, указанных в скобках. Величину K можно интерпретировать как размер апертуры фильтра скользящего среднего. Особенностью фильтра скользящего среднего является хорошее сглаживание шума РИ.

Интервальный фильтр скользящего среднего. Выходной сигнал определяется выражением:

$$\hat{f}_j^{I\Phi} = \text{aver}_K(\tilde{f}_i : j-K \leq i \leq j+K, |\tilde{f}_i - \tilde{f}_j| \leq \Delta_f), \quad (5)$$

т.е. усредняются только те исходные значения \tilde{f}_i , которые попали в интервал $[\tilde{f}_j - \Delta_f, \tilde{f}_j + \Delta_f]$. Такое интервальное усреднение предотвращает сглаживание контрастных деталей «точного» сигнала f_j . Выбор величины Δ_f играет существенную роль в работе рассматриваемого фильтра. Для определения Δ_f можно использовать правило «двух сигм»:

$$\Delta_f = 2 \cdot \sigma, \quad (6)$$

которое говорит о том, что значения нормально распределенной случайной величины с нулевым средним и дисперсией σ^2 с вероятностью близкой к 0.95 попадут в интервал $[-\Delta_f, \Delta_f]$.

Медианный фильтр. Выходной сигнал $\hat{f}_j^{M\Phi}$ медианного фильтра определяется соотношением

$$\hat{f}_j^{M\Phi} = \text{med}_L(\tilde{f}_{j-L}, \tilde{f}_{j-L+1}, \dots, \tilde{f}_j, \dots, \tilde{f}_{j+L}), \quad (7)$$

где $\text{med}_L()$ – функция, вычисляющая медиану из $2 \cdot L + 1$ значений, указанных в скобках. Особенностями медианного фильтра являются: хорошая фильтрация импульсных шумов; сохранение в отфильтрованном сигнале контрастных деталей сигнала f_j .

Комбинированный фильтр [2]. Работу такого комбинированного фильтра (КФ) «медианный фильтр + интервальный фильтр скользящего среднего» можно представить следующими шагами, выполняемыми для $j \in 1, \dots, N$:

Шаг 1. Строится оценка:

$$\hat{f}_j^{M\Phi} = \text{med}_L(\tilde{f}_{j-L}, \dots, \tilde{f}_j, \dots, \tilde{f}_{j+L}). \quad (8)$$

Шаг 2. Строится оценка

$$\hat{f}_j^{K\Phi} = \text{aver}_K(\hat{f}_i^{M\Phi} : j-K \leq i \leq j+K, |\hat{f}_i^{M\Phi} - \hat{f}_j^{M\Phi}| \leq \Delta_f), \quad (9)$$

где L , K – размер апертур фильтров, причем $K \geq L$. Заметим, что на шаге 2 усредняются только те значения $\hat{f}_i^{M\Phi}$, которые попали в интервал $[\hat{f}_j^{M\Phi} - \Delta_f, \hat{f}_j^{M\Phi} + \Delta_f]$. Такое интервальное усреднение предотвращает сглаживание контрастных деталей сигнала f_j .

Очевидно, что КФ объединяет достоинства двух составляющих его фильтров, т.е. хорошо устраниет импульсные шумы и успешно сглаживает (за счет большого размера апертуры) однородные шумы, сохраняя при этом контрастные составляющие сигнала.

Для определения величины Δ_f можно использовать следующий способ. Предположим, что значение $\hat{f}_j^{M\Phi}$, являющееся результатом медианной фильтрации, содержит «остаточную» случайную ошибку с дисперсией σ^2 . Тогда величину Δ_f вычислим по правилу «двух сигм» (6).

3. Результаты вычислительных экспериментов

К сожалению, пороговой характер обработки коэффициентов вейвлет-разложения зашумленного сигнала обуславливает нелинейность порогового алгоритма вейвлет-фильтрации. Подобные нелинейности возникают и в алгоритмах пространственной фильтрации. Это делает затруднительным ответ о применимости этих алгоритмов для фильтрации аномальных измерений исходя из аналитических исследований среднеквадратической ошибки фильтрации.

Поэтому для ответа на этот вопрос был проведен обширный вычислительный эксперимент по фильтрации двух тестовых сигналов (на рис. 1 показаны зашумленные значения этих сигналов). Характерной чертой этих сигналов являются их разные частотные характеристики: *Doppler* представляют собой «глад-

кий» гармонический сигнал с медленно меняющимися частотой и амплитудой, *Rectangular* – «контрастный» сигнал с резким (ступенчатым) изменением амплитуд. Спектр последнего сигнала является широкополосным, что существенно усложняет их фильтрации из-за совпадений высокочастотных составляющих сигнала и шума измерения.

Точные значения этих двух сигналов искажались нормально распределенными шумами измерений моделей РИ и АИ. В первой модели дисперсия определялась по задаваемому уровню шума, который определялся соотношением $\delta_{\tilde{f}}^{PII} = \frac{\|\tilde{f} - f\|}{\|f\|}$,

где f, \tilde{f} – векторы, составленные из «точных» и «зашумленных» значений функции соответственно (число проекций равно 2048). Задавались значения $\delta_{\tilde{f}}^{PII} = 0.025, 0.05, 0.075, 0.10, 0.15$.

В модели АИ константа $C = 400$ (т.е. уровень аномального шума в 20 раз превосходил уровень шума РИ), а вероятности P задавались значениями 0.01, 0.05. На рис. 1 показаны значения тестовых сигналов, искаженных шумом АИ с $\delta_{\tilde{f}} = 0.05$ и $P = 0.05$.

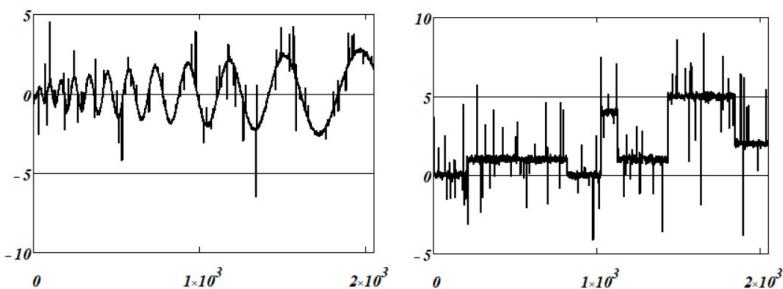


Рис. 1. Зашумленные тестовые сигналы *Doppler* и *Rectangular*

На рис. 2 показаны графики результатов вейвлет-фильтрации зашумленных данных, показанных на рис. 1. Видно, что отфильтрованные сигналы содержат «остаточные» импульсные шумы. Неудовлетворительную работу вейвлет-алгоритмов при

фильтрации импульсного шума можно объяснить следующим образом. В силу линейности прямого вейвлет-преобразования импульсный шум существенно увеличивает величину детализирующих коэффициентов первого и второго уровня разложения, и они становятся больше (по абсолютной величине) порога λ . Следовательно, эти коэффициенты, обусловленные в основном импульсным шумом, воспринимаются пороговыми алгоритмами обработки как «информационные», они участвуют в обратном вейвлет-преобразовании и вызывают в отфильтрованном сигнале тоже импульсные ошибки фильтрации. Для преодоления этого недостатка можно порекомендовать увеличить порог λ , но это может вызвать существенное увеличение систематической ошибки фильтрации (за счет зануления информативных коэффициентов).

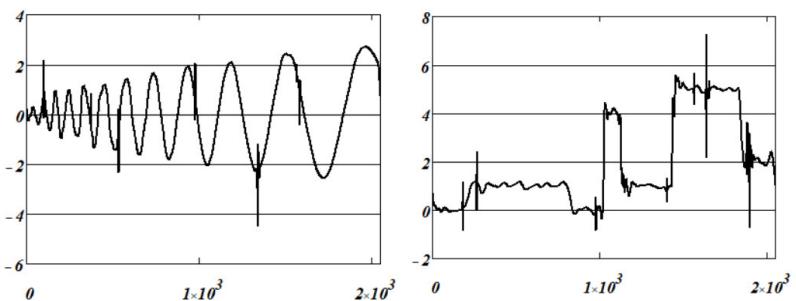


Рис. 2. Результаты вейвлет-фильтрации зашумленных сигналов

В ряде публикаций (например, [12, 13]) был предложен подход к построению робастных алгоритмов вейвлет-фильтрации за счет усложнения пороговых функций и решения задач математического программирования относительно коэффициентов вейвлет-разложения фильтруемой функции. Однако это существенно (на порядок и более) увеличивает число требуемых вычислительных операций, при этом не полностью удаляются «остаточные» импульсные шумы в отфильтрованном сигнале.

Поэтому обратимся к локально-пространственному алгоритму фильтрации КФ (8), (9). На рис. 3 показаны результаты фильтрации этим алгоритмом. Видно существенное увеличение точности по сравнению результатами вейвлет-фильтрации.

Для количественной оценки эффективности алгоритма КФ при фильтрации аномальных измерений были определены следующие относительные ошибки фильтрации:

$$1. \quad \bar{\delta}_{\hat{f}}^{AB\Phi} = \frac{\|\hat{f}^{AB\Phi} - f\|}{\|f\|} - \text{относительная ошибка вейвлет-фильтрации шума РИ } \delta_{\hat{f}}^{PH}$$

фильтрации шума РИ $\delta_{\hat{f}}^{PH}$ (столбец 2 в табл. 1, 2) с заданным уровнем шума.

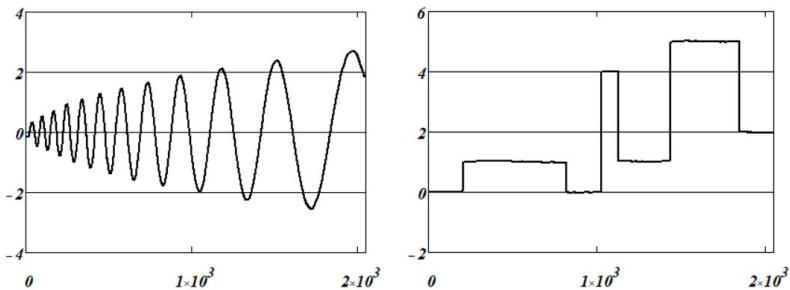


Рис. 3. Результаты фильтрации сигналов фильтром КФ

$$2. \quad \bar{\delta}_{\hat{f}}^{LP\Phi} = \frac{\|\hat{f}^{LP\Phi} - f\|}{\|f\|} - \text{относительная ошибка локально-пространственного фильтра (столбец 3 в табл. 1, 2) при фильтрации шума РИ с заданным уровнем шума } \delta_{\hat{f}}^{PH} .$$

пространственного фильтра (столбец 3 в табл. 1, 2) при фильтрации шума РИ с заданным уровнем шума $\delta_{\hat{f}}^{PH}$.

$$3. \quad \delta_{\hat{f}}^{AB\Phi} = \frac{\|\hat{f}^{AB\Phi} - f\|}{\|f\|} - \text{относительная ошибка вейвлет-фильтрации шума АИ (столбец 5 в табл. 1, 2) с уровнем шума } \delta_{\hat{f}}^{AH} \text{ и заданной вероятностью } P .$$

фильтрации шума АИ (столбец 5 в табл. 1, 2) с уровнем шума $\delta_{\hat{f}}^{AH}$ и заданной вероятностью P .

$$4. \quad \delta_{\hat{f}}^{ЛПФ} = \frac{\|\hat{f}^{ЛПФ} - f\|}{\|f\|} - \text{относительная ошибка локально-}$$

пространственной фильтрации шума АИ (столбец 6 в табл. 1, 2) с уровнем шума $\delta_{\tilde{f}}^{AI}$ и заданной вероятностью P .

Средние значения (объем выборки при их вычислении был равен 100) этих четырех относительных ошибок представлены в табл. 1 (тестовый сигнал *Doppler*) и табл. 2 (тестовый сигнал *Rectangular*).

Таблица 1

Относительные ошибки фильтрации сигнала *Doppler*

$\delta_{\tilde{f}}^{RI}$	$\bar{\delta}_{\hat{f}}^{AB\Phi}$	$\bar{\delta}_{\hat{f}}^{ЛПФ}$	$\delta_{\tilde{f}}^{AI}$	$\delta_{\hat{f}}^{AB\Phi}$	$\delta_{\hat{f}}^{ЛПФ}$	Вероятность
1	2	3	4	5	6	7
0.025	0.008	0.017	0.046	0.043	0.017	0.01
			0.127	0.058	0.017	0.05
0.05	0.017	0.020	0.105	0.071	0.021	0.01
			0.229	0.089	0.021	0.05
0.075	0.024	0.025	0.161	0.087	0.026	0.01
			0.355	0.106	0.027	0.05
0.10	0.030	0.031	0.239	0.096	0.032	0.01
			0.497	0.124	0.033	0.05
0.15	0.042	0.043	0.462	0.115	0.043	0.01
			0.729	0.173	0.045	0.05

Заметим, что в столбце 4 приводятся средние значения относительного уровня шума АИ (т.е. при наличии аномальных измерений), а в столбце 7 – значение вероятности появления импульсного шума.

Таблица 2
Относительные ошибки фильтрации сигнала *Rectangular*

$\delta_{\tilde{f}}^{RI}$	$\bar{\delta}_{\hat{f}}^{ABF}$	$\bar{\delta}_{\hat{f}}^{LPF}$	$\delta_{\tilde{f}}^{AI}$	$\delta_{\hat{f}}^{ABF}$	$\delta_{\hat{f}}^{LPF}$	Вероятность
1	2	3	4	5	6	7
0.025	0.011	0.007	0.051	0.043	0.009	0.01
			0.102	0.069	0.013	0.05
0.05	0.021	0.014	0.119	0.081	0.017	0.01
			0.218	0.132	0.025	0.05
0.075	0.029	0.018	0.159	0.122	0.024	0.01
			0.338	0.188	0.031	0.05
0.10	0.038	0.023	0.197	0.14	0.031	0.01
			0.402	0.239	0.037	0.05
0.15	0.052	0.031	0.327	0.197	0.044	0.01
			0.696	0.328	0.049	0.05

Заключение

Анализ приведенных в таблицах результатов позволяет сделать следующие выводы:

1. Алгоритмы вейвлет-фильтрации можно использовать для фильтрации «гладких» сигналов, искаженных однородным шумом (модель измерений РИ) (например, в задачах сглаживания экспериментальных данных, регрессионном анализе и т.д.).
2. Алгоритмы локально-пространственной фильтрации следует использовать для фильтрации больших уровней шума, в особенности сигналов, искаженных импульсными шумами.
3. При необходимости вейвлет-представления сигнала, искаженного импульсным шумом, можно использовать двухэтапную обработку – на первом этапе осуществляется фильтрация комбинированным фильтром, а на втором – вейвлет-разложение результата фильтрации на первом этапе.

Список литературы

1. *Хуанг, Т. С. Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений : монография.* – Москва : Радио и связь, 1984. – 340 с.
2. *Бронников, А. В., Воскобойников, Ю. Е. Нелинейные комбинированные алгоритмы фильтрации зашумленных сигналов и изображения // Автометрия.* – 1990. – № 1. – С. 21–28.
3. *Новиков, Л. В. Основы вейвлет-анализа сигналов : монография.* – Санкт-Петербург : Модус+, 1999. – 262 с.
4. *Воскобойников, Ю. Е. Вейвлет-фильтрация сигналов и изображений (с примерами в пакете MathCAD) : монография.* – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2015. – 188 с.
5. *Vidakovic, B. Statistical modeling by wavelets. Wiley series in probability and statistics.* – John Wiley & Sons Inc., 1999. – 365 р.
6. *Воскобойников, Ю. Е., Гочаков, А. В., Колкер, А. Б. Фильтрация сигналов и изображений: Фурье и вейвлет алгоритмы : монография.* – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2010. – 188 с.
7. *Voskoboinikov, Yu. E., Gochakov, A. V. Comparison of two classes of a image filtration algorithms // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing.* – 2010. – Vol. 46, № 6. – P. 14–25.
8. *Воскобойников, Ю.Е., Крысов, Д. А. Исследование потенциальной точности пороговых алгоритмов вейвлет-фильтрации шумов различной статистической природы // Автоматика и программная инженерия.* – 2016. – № 4 (18). – С. 67–76.
9. *Mallat, S. A theory of multiresolution signal decomposition: the wavelet representation // IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.* – 1989. – Vol. 11, № 9. – P. 674–693.
10. *Дьяконов, В. П. Вейвлеты. От теории к практике : учеб. пособие.* – Москва : СОЛОМОН-Р, 2002. – 448 с.

11. *Voskoboinikov, Yu. E., Gochakov, A. V.* Estimating optimum threshold sizes in a wavelet-filtration algorithms // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. – 2011. – Vol. 47, № 2. – P. 3–14.
12. *Su, F., Wei, T. J. G.* Study on the robust wavelet threshold technique for heavy-tailed noises // Journal of computers. – 2011. – Vol. 6, № 6. – P. 1246–1255.
13. *Sardy, S., Tseng, P., Bruce, A.* Robust Wavelet Denoising // IEEE transactions on signal processing. – 2001. – Vol. 49, № 6. – P. 1146–1154.

СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЗАГЛУБЛЕННЫХ И НЕЗАГЛУБЛЕННЫХ ФУНДАМЕНТОВ

О.А. Коробова^{*}, В.В. Куклин^{**}, С.А. Чернова^{**},
Д.В. Шевелёв^{**}, Д.О. Григорьев^{***}

В статье рассмотрены результаты расчетов напряженно-деформированного состояния заглубленного и незаглубленного жестких фундаментов. Проанализировано влияние деформационной анизотропии на распределение напряжений и перемещений для слоев различной мощности от 1,25 b до 6,6 b (где b – ширина фундамента). Установлено, что, характер распределения и величина напряжений σ_z , σ_x , τ_{xz} и перемещений U_z , U_x обычно существенно зависят от показателя анизотропии материала основания; от мощности слоя, находящегося под подошвой фундамента; от изгибной жесткости и заглубления фундамента.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, грунтовое основание, слои различной мощности, полуплоскость, фундаменты, показатель деформационной анизотропии.

Введение

Изгибная жесткость фундаментов существенно влияет не только на напряженно-деформированное состояние (НДС) грунта в «контактном» слое (в том числе – и на очертания эпюры контактных давлений), но и на НДС всего грунтового массива, а также на осадки самого фундамента. Между тем при расчете осадок фундаментов, расположенных на изотропном грунтовом основании, как правило, учитываются лишь средние значения контактных давлений [1] и не рассматривается характер распределения их по подошве фундамента. В связи с этим выяснение

* Д-р техн. наук, профессор кафедры инженерной геологии, оснований и фундаментов НГАСУ (Сибстрин)

** Магистрант НГАСУ (Сибстрин)

*** Студент НГАСУ (Сибстрин)

степени неравномерности распределения нормальных контактных давлений на величину расчетной (прогнозируемой) осадки имеет известное практическое значение. Тем более это относится к грунтовым основаниям с деформационной анизотропией. Известно также, что в расчетах осадок фундаментов существующими методами [1] и др. учитываются напряжения, вычисленные для условий, соответствующих действию внешних нагрузок, приложенных к поверхности основания. Влияние заглубления фундаментов на величину прогнозируемых осадок учитывается приближенно, путем введения понятия «дополнительные нагрузки». Воздействие слоя грунта, расположенного выше подошвы заглубленного фундамента, а также сил слипания (трения, зацепления) грунта этого слоя с боковой поверхностью фундамента на величину прогнозируемой осадки фундамента, как правило, не учитывается. Однако, за счет учета органического единства всего грунтового массива и связи слоя грунта, расположенного выше подошвы заглубленного фундамента с соседними участками основания, расположенными ниже уровня подошвы фундамента, следует ожидать уменьшения величины осадок, установленных расчетом традиционными методами. Это предположение исследовано далеко не полно даже для изотропной среды, поэтому проведение данных исследований является актуальным. Задача может быть поставлена более широко: проследить также влияние перечисленных факторов для анизотропной среды.

Методика исследования

Ниже излагаются результаты расчетов, выполненных для условий плоской задачи. Высокая изгибная жесткость фундамента имитировалась заданием модуля деформации конечных элементов в пределах контура фундамента, численно равного модулю упругости железобетона ($E_b = 30000$ МПа). Заглубление фундамента d во всех случаях было принято одинаковым и составляло $1,13 b$ (где b – ширина фундамента). Показатель анизотропии $\alpha = E_z/E_x$ слоя грунта, расположенного выше подошвы фундамента, в расчетах принят таким же, как и под подошвой

фундамента. В виду установленного малого влияния изменчивости коэффициентов Пуассона на конечный результат, расчеты выполнялись при условии $v_{zx} = v_{yx} = 0,3 = \text{const}$. Последнее обстоятельство упрощает учет анизотропии в практике расчета грунтовых оснований. Отсутствие заглубления фундамента в расчетной схеме достигалось приравниванием модуля деформируемости прямоугольных элементов, расположенных вне контура фундамента, выше уровня подошвы фундамента, очень малым значениям, в сотни раз меньшими, чем значения E_z и E_x для грунтовой среды. Мощность слоев грунта, залегавшего под подошвой фундамента, принималась различной – от $h = 1,25b$ до $6,6b$ при одинаковой ширине $\ell = 9,2b$ и прочих равных условиях. Были проведены исследования НДС жесткого заглубленного фундамента (штампа). Разбивка модели основания прямоугольными конечными элементами осуществлялась так, чтобы в пределах контура фундамента элементы имели жесткость, сопоставимую с жесткостью материала фундаментов (железобетон с модулем упругости $E = 30000$ МПа). Анизотропная среда с характеристиками деформируемости $E_z(E_x) = 5 (40)$ МПа и $v_{zx} = 0,3$ при комбинациях отношений $\alpha = E_z/E_x = 0,13, 1$ и 8 располагалась под подошвой фундамента и за его боковыми гранями. Заглубление фундамента d не варьировалось, было принято в расчетах постоянным. Мощность слоя h под подошвой фундамента варьировалась и составляла $h = 1,25b, 2,5b, 3,75b, 4,7b$ и $6,6b$. В последнем случае слой может быть идентифицирован с полуплоскостью. По боковым граням фундамента налагалось условие полного слипания среды с поверхностью фундамента. Величина и характер вертикальной нагрузки на верхний обрез фундамента принимались по схеме, моделирующей равномерно распределенную нагрузку в схемах незаглубленных гибкого и жесткого штампов.

Влияние анизотропии среды на величину напряжений σ_z и σ_x для заглубленного и незаглубленного фундаментов, а также для полосовой нагрузки приведены на рис. 1 и 2.

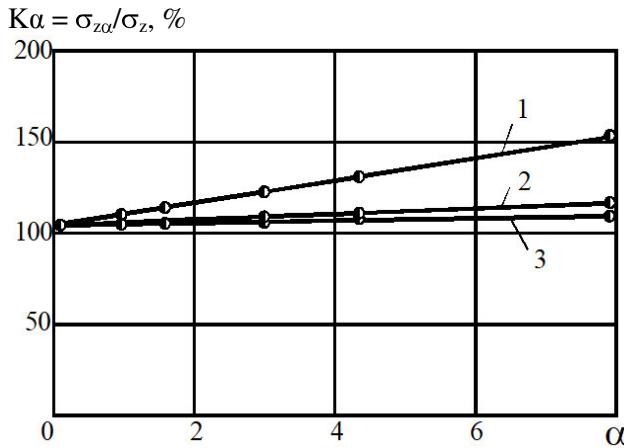


Рис. 1. Влияние анизотропии среды на величину напряжений σ_z :
 1 – фундамент заглубленный; 2 – фундамент незаглубленный;
 3 – полосовая нагрузка; $v = 0,30$

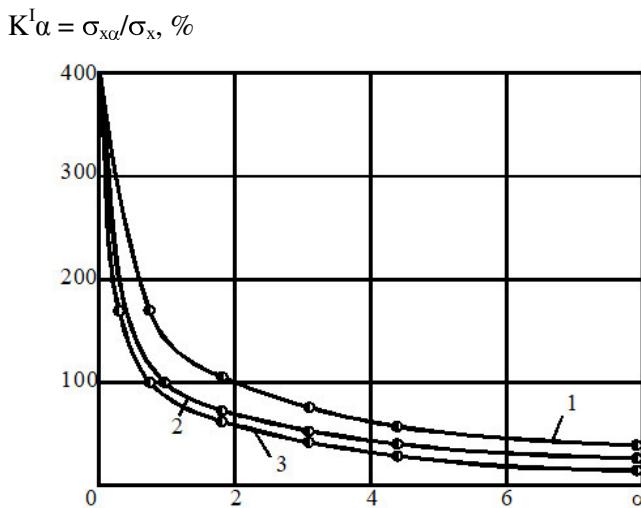


Рис. 2. Влияние анизотропии среды на величину напряжений σ_x
 (зоны I–III): 1 – фундамент заглубленный;
 2 – фундамент незаглубленный; 3 – полосовая нагрузка; $v = 0,30$

Таким образом, при любом характере анизотропии ($0,13 \leq \alpha \leq 8$) мощность слоя влияет на характер распределения компонент напряжений и перемещений точек слоя. С увеличением мощности слоя проявляются следующие основные особенности НДС: перераспределяется доля внешней нагрузки, передающейся на основание через подошву фундамента и его боковую поверхность; интенсивность контактных напряжений σ_z уменьшается (до 50 % от величины давлений на верхнем обрезе фундамента), интенсивность напряжений τ_{xz} на боковой поверхности фундамента при $h = 6,6b$ увеличивается до 40 % от соответствующих значений τ_{xz} в слое $h = 1,25b$. С увеличением мощности слоя h существенно изменяется величина и даже знак напряжений σ_z в «контактном» слое, особенно при $\alpha \geq 1$. Наличие и размеры областей с различными знаками напряжений σ_z , σ_x , τ_{xz} и перемещений U_z , U_x определяются не только характером анизотропии (показателем α), но и мощностью слоя при любом фиксированном значении α [2–5]. Мощность слоя h при фиксированных значениях α определяет и характер, и величину, и местоположение экстремума в процессе концентрации (деконцентрации) компонент напряжений на нижней границе слоя. Наложение жестких связей на контакте слоя с боковой поверхностью фундамента в расчетах НДС слоя приводит к значительному уменьшению расчетных величин контактных напряжений (не в запас надежности). В практических расчетах НДС основания жестких фундаментов это условие следует смягчить, задавшись, например, условием отсутствия касательных напряжений на боковой поверхности фундаментов.

Сопоставление результатов расчета НДС заглубленного и незаглубленного жестких штампов свидетельствует о следующем.

Слой малой мощности ($h = 1,25b$)

В «контактном» слое напряжение σ_z при $\alpha = 0,13$ распределены практически равномерно. С увеличением α они несколько возрастают в центральной точке подошвы: отношение этих напряжений к величине «краевых» составляет 1,07 и 1,10 при $\alpha = 1$ и $\alpha = 8$ соответственно. Средние значения «контактных» напря-

жений σ_z под заглубленным штампом существенно меньше, чем под незаглубленным σ_{zh} : при $\alpha = 0,13$ первые составляют лишь 0,4 от вторых, при $\alpha = 1-0,5$ и при $\alpha = 8-0,78$. Это объясняется сильным влиянием касательных напряжений τ_{xz} , возникающих на боковой поверхности заглубленного фундамента с принятymi условиями контактирования его с основанием (полное слипание). Так, среднее значение τ_{xz} по боковой поверхности фундамента при $\alpha = 0,13$ составляет 0,5 σ_{zc} (σ_{zc} – среднее значение напряжения в «контактном» слое) при $\alpha = 1-0,33 \sigma_{zc}$, при $\alpha = 8-0,18 \sigma_{zc}$. Наличие τ_{xz} по боковой поверхности фундамента отражается на характере распределения напряжений и деформаций по всему слою и при любом α . Это, как правило, приводит к уменьшению градиента любой компоненты напряжений по горизонтальному и вертикальному направлениям и резкому уменьшению касательных и горизонтальных напряжений в «контактном» слое.

Сжимающие напряжения σ_z вдоль центральной вертикали в случае проскальзывания по нижней границе слоя с глубиной интенсивно уменьшаются и при $\alpha = 0,13$ на некоторой глубине становятся равными нулю, а далее, с глубиной, возрастают напряжения растяжения, наибольшая величина которых на границе слоя составляет 0,5 σ_{z0} (σ_{z0} – напряжения в «контактном» слое по средине подошвы). При $\alpha \geq 1$ напряжения σ_z при этом еще не меняют своего знака, а значения их на границе слоя составляют 0,01 σ_{z0} и 0,13 σ_{z0} при $\alpha = 1$ и $\alpha = 8$ соответственно.

Эта же картина в качественном отношении характерна и для слоя с незаглубленным штампом, однако при $\alpha = 0,13$ на нижней границе слоя $\sigma_z = 1,1 \sigma_{z0}$; в других случаях, при $\alpha \geq 1$ разница несущественна. Распределение напряжений σ_x по глубине вдоль центральной вертикали заглубленного штампа более неравномерно, чем под незаглубленным: на нижней границе слоя значения σ_x в первом случае составляют 3–5 σ_{x0} , во втором – только 1,1–1,3 σ_{x0} .

Вдоль угловой вертикали заглубленного штампа с глубиной напряжения σ_z несколько уменьшаются, а затем – возрастают

до значений, составляющих $1,5\sigma_{z0}$, $1,6\sigma_{z0}$, $1,7\sigma_{z0}$ при $\alpha = 0,13$, 1 и 8 соответственно. На нижней границе слоя в первом случае возникает деконцентрация напряжений ($\sigma_z = 0,3\sigma_{z0}$), во втором случае – $\sigma_z = 0,5\sigma_{z0}$, в третьем случае уменьшение σ_z не наблюдается. Под незаглубленным штампом увеличение значений σ_z на нижней границе слоя в соответствующих случаях значительно меньше. При качественно одинаковой форме эпюор распределения напряжений вдоль угловой вертикали характерно значительное уменьшение напряжений под заглубленным штампом, особенно при $\alpha = 0,13$.

При $\alpha = 0,13$ под заглубленным штампом повсюду, кроме участка, примыкающего к нижней границе слоя, возникают сжимающие напряжения σ_x ; при $\alpha \geq 1$ упомянутые области с растягивающими напряжениями σ_x уменьшаются, одновременно аналогичные области появляются и увеличиваются у поверхности слоя, на некотором расстоянии от фундамента. Обширные области растягивающих напряжений σ_x у нижней границы слоя при любом значении α возникают и под незаглубленным штампом.

Перемещения U_z в основании заглубленного штампа при любом значении α практически во всех точках основания направлены вниз, и только на достаточном удалении от штампа, вблизи поверхности, они направлены вверх. Перемещения U_x направлены от оси симметрии штампа; при $\alpha \geq 1$ участки основания, примыкающие к боковой поверхности фундамента, смещаются к оси симметрии. Под незаглубленным штампом перемещения U_z , направленные вверх, охватывают большую часть слоя с любым значением α без подъема поверхности основания. Перемещения U_x точек основания, расположенных ниже подошвы фундамента, в обоих рассмотренных случаях направлены к оси симметрии.

Слой большой мощности (полуплоскость, $h = 6,6b$)

В «контактном» слое жесткого заглубленного штампа (фундамента) распределение напряжений σ_z достаточно равномерно, однако, за счет слипания грунта с боковой поверхностью фундамента, средняя интенсивность напряжений σ_{zc} при $\alpha = 0,13$

составила только $0,5 \sigma_{zh}$, а при $\alpha = 1$ и $\alpha = 8 - 0,6 \sigma_{zh}$ и $0,7 \sigma_{zh}$ соответственно; при этом среднее значение касательных напряжений τ_{xz} по боковой поверхности фундамента составили $1,12 \sigma_{zc}$; $0,54 \sigma_{zc}$ и $0,31 \sigma_{zc}$ при $\alpha = 0,13$; 1 и 8 соответственно. Наличие достаточно больших касательных напряжений τ_{xz} , отмеченных выше, оказывает большое влияние на характер распределения всех компонент напряжений в основании. Напряжения τ_{zx} в «контактном» слое мало изменяются при изменении α , в отличие от случая с незаглубленным штампом; к тому же, значения τ_{zx} в первом случае в 2–4,5 раза меньше, чем во втором. Напряжения σ_x в «контактном» слое также в несколько раз меньше, чем под незаглубленным штампом, а при $\alpha > 1$ они практически отсутствуют.

Напряжения σ_z вдоль центральной вертикали с глубиной постепенно уменьшаются, при $\alpha = 1$ на нижней границе слоя имеет место концентрация напряжений. В качественном отношении это явление аналогично тому, что получено для случая с незаглубленным штампом. Достаточно заметные сжимающие напряжения σ_x , в точках, принадлежащих центральной вертикали, получены лишь для случая $\alpha = 0,13$; при $\alpha > 1 \sigma_x = 0$. В основании незаглубленного штампа вдоль центральной вертикали можно выделить участки с растягивающими напряжениями σ_x ; величина этих участков зависит от показателя α .

Вдоль угловой вертикали заглубленного фундамента после уменьшения напряжений σ_z до некоторой глубины при любом α следует их увеличение, причем значения σ_z на уровне нижней границы слоя несколько больше, чем в соседних точках центральной вертикали, т.е. качественно картина по сравнению со случаем незаглубленного штампа сохраняется. Касательные напряжения τ_{zx} в основании фундамента (слева от оси симметрии) отрицательны. Область положительных τ_{zx} располагается в нижней части основания, у оси симметрии эта область наиболее приближена к подошве фундамента, ее размеры максимальны при $\alpha = 0,13$ и минимальны при $\alpha = 8$. Под незаглубленным штампом при $\alpha = 1$ такая область отсутствует.

Перемещения U_z при любом значении α в любой точке основания направлены вниз (под незаглубленным штампом – также). Перемещения U_x точек основания, расположенных выше уровня подошвы, направлены в основном к оси симметрии фундамента, области с такими направлением движения точек массива имеют сравнительно малые размеры при $\alpha = 0,13$ и наибольшие – при $\alpha = 8$. Ниже подошвы фундамента перемещений такого направления практически нет, а под незаглубленным штампом они имеются.

Заключение

1. Характер распределения и величина любой компоненты НДС обычно существенно зависят от показателя анизотропии материала основания, от мощности слоя, находящегося под подошвой фундамента, от изгибной жесткости и заглубления фундамента.

2. Учет полного «слипания» материала основания с боковой поверхностью заглубленного фундамента приводит к заметному снижению компонент напряжений и деформаций в точках основания, расположенных ниже подошвы фундамента (не в запас надежности основания), поэтому не может быть рекомендован к применению в практике проектирования оснований и фундаментов. Учитывая недостаточную надежность результатов, получаемых по обычной методике определения характеристик деформируемости грунта основания, представляется возможным рекомендовать для практического использования в расчетах его НДС результаты решения, полученные для абсолютно гибкого незаглубленного штампа.

Список литературы

1. СП 22.13330.2016. зданий и сооружений [Электронный ресурс] : актуализированная ред. СНиП 2.02.01-83* : утв. Приказом Минрегиона РФ от 16.12.2016 № 970 : введ. 17.06.2017. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>
2. Винокуров, Е. Ф., Микулич, В. А. Исследование напряженно-деформированного состояния заглубленного ленточного

- фундамента методом конечных элементов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1975. – № 5. – С. 34–37.
3. Голубев, А. И. Напряженно-деформированное состояние анизотропных грунтовых оснований : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Ленинград, 1983. – 16 с.
 4. Коробова, О. А. Исследование напряженно-деформированного состояния анизотропного грунтового основания численными методами с применением планирования эксперимента // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – Новосибирск, 1995. – № 9. – С. 17–22.
 5. Лапкин, В. Б. Влияние поперечной анизотропии на напряженно-деформированное состояние основания, нагруженного ленточным фундаментом // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1975. – № 3. – С. 37–39.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ ВОД НА УГОЛЬНЫХ СОРБЕНТАХ

Ю.Л. Сколубович*, Т.А. Краснова **, Д.Д. Волков ***,
А.М. Пономаренко ****, Е.Л. Войтов,
В.С. Петросян *****, Е.И. Пупырев *****,
Е.С. Гогина

Рассмотрены результаты экспериментальных исследований по очистке речных вод и подземных вод от минеральных органических примесей на угольных сорбентах в городах и поселках Кемеровской и Новосибирской областей Сибирского региона. Авторами предложен способ модификации угольных сорбентов, повышающий их сорбционную емкость по фенолу и хлорфенолу.

Ключевые слова: очистка, сорбенты, железо, марганец, подземные воды, органические примеси, хлорфенол, модификация.

Введение

Для очистки воды, содержащей микроколичества органических и минеральных веществ, наиболее универсальным и экономически целесообразным является сорбционный метод с использованием активных углей.

В связи с постоянным присутствием химических веществ в водах большинства рек России, сложностью и большой эксплуатационной стоимостью углевания воды порошкообразным углем, технически целесообразно и экономически оправданно

* Д-р техн. наук, профессор кафедры водоснабжения и водоотведения НГАСУ (Сибстрин)

** Д-р техн. наук, профессор КемГУ

*** Зам. генерального директора ОАО «Северо-Кузбасская энергетическая компания»

**** Генеральный директор МГУП «Мосводоканал»

***** Д-р хим. наук, профессор МГУ им. М.В. Ломоносова

***** Д-р техн. наук, профессор, председатель Экспертно-технологического совета Российской ассоциации водоснабжения и водоотведения

***** Канд. техн. наук, доцент НИ МГСУ

применение зернистых активных углей в качестве загрузки отдельных сорбционных фильтров.

Этот метод является наиболее надежным с санитарно-гигиенической и технологической точек зрения [1–4].

Экспериментальные исследования

В лаборатории насосно-фильтровальной станции г. Кемерово проведены исследования по очистке воды р. Томи и выбору наиболее эффективной марки угля. Экспериментальная установка состояла из 5 фильтрационных колонок высотой 1,5 м, загруженных активными углами различных марок. Анализ полученных данных по эффективности удаления различных загрязнений исследованными углами показал, что по адсорбционной способности и параметрам, характеризующим сорбционную очистку, угли располагаются в следующей последовательности: F-400 > СКТ-6А > TL-830 > АГ-3. С учетом более низкой стоимости, не дефицитности и высоких прочностных характеристик для очистки поверхностных вод принят уголь марки АГ-3.

Сходные показатели эффективности сорбционной очистки получены при эксплуатации экспериментальной установки очистки высокоцветной воды р. Омь (см. таблицу). Доочистка речной воды на угольных сорбционных фильтрах после скорых фильтров по основным показателям обеспечила качество питьевой воды, соответствующее требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01.

На водоочистной станции питьевого водоснабжения поселка Краснобродский Кемеровской области проведены исследования по очистке вод водохранилища на р. Кривой Ускат. Схема экспериментальной установки представлена на рисунке, а результаты исследования – в таблице.

Сорбционный фильтр сечением $0,2 \times 0,2$ м и высотой 3,5 м был загружен гранулированным активным углем марки АГ-3 с крупностью зерен 0,5–2,0 мм и высотой фильтрующего слоя 2,0 м. Скорость фильтрования составляла 5 м/ч.

Результаты исследований эффективности очистки воды на углеродных сорбентах

Место проведения исследований	Этапы очистки воды	Усредненные показатели качества очищенной воды						
		Мутность, мг/л	Цветность, град	Окисляемость, мгО ₂ /л	Fe _{общ} , мг/л	Mn, мг/л	Нефтепродукты, г/л	Фенол, мг/л
Поверхностные воды (из водохранилища и реки)								
п.г.т. Краснобродский Кемеровской обл.	Фильтрование на СФ Сорбция на УСФ	1,2 0,4	21,4 14,5	5,6 3,2	0,14 0,06	0,03 0,01	0,13 0,08	0,0004 0,0002
г. Куйбышев Новосибирской обл.	Фильтрование на СФ Сорбция на УСФ	1,0 0,4	36,0 13,5	8,0 4,1	0,30 0,15	0,10 0,04	0,03 0,02	0,0003 0,0002
Подземные воды (из скважин)								
г. Кемерово Кемеровской обл.	Осветление на РО Сорбция на УСФ	2,3 1,2	13 6	2,1 1,0	0,14 0,06	0,06 0,03	0,09 0,05	0,0010 0,0005
п.г.т. Зеленогорский Кемеровской обл.	Осветление на РО Сорбция на УСФ	2,2 1,3	14 8	2,8 1,2	0,04 0,02	0,02 0,01	0,08 0,04	0,0009 0,0003
п.г.т. Промышленная Кемеровской обл.	Осветление на РО Сорбция на УСФ	1,4 0,6	15 8	2,9 1,1	0,28 0,11	0,19 0,08	0,04 0,02	0,0018 0,0010
поселок шахты Ягуновская Кемеровской обл.	Осветление на РО Сорбция на УСФ	1,1 0,4	12 6	2,3 1,0	0,18 0,05	0,14 0,06	0,06 0,03	0,0008 0,0003
г. Новосибирск Академгородок	Осветление на РО Сорбция на УСФ	1,2 0,5	13 6	2,7 1,0	0,19 0,08	0,17 0,05	0,02 0,01	0,0010 0,0004
Питьевая норма по СанПиН 2.1.4.1074-01		1,5	20	5,0	0,30	0,10	0,10	0,0008

Примечание. РО – реактор-осветлитель, СФ – скорый фильтр, УСФ – угольный сорбционный фильтр.

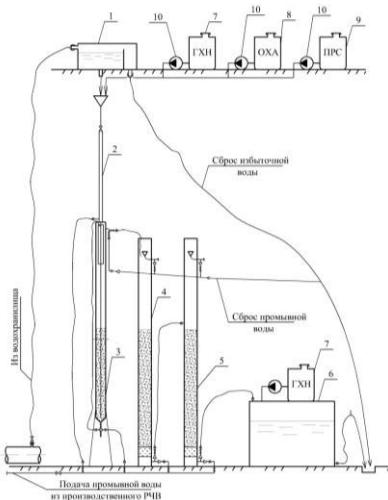


Рис. 1. Схема и фото экспериментальной полупроизводственной установки по очистке воды водохранилища в п.г.т. Краснобродский:

- 1 – бак постоянного уровня;
- 2 – смеситель-воздухоотделитель;
- 3 – реактор-осветлитель;
- 4 – скорый фильтр;
- 5 – угольный сорбционный фильтр;
- 6 – бак очищенной воды;
- 7 – баки гипохлорита натрия для предварительного и вторичного хлорирования воды;
- 8 – бак оксихлорида алюминия;
- 9 – бак Праестола 650 ТР;
- 10 – дозировочные насосы

Комплексная оценка адсорбционных параметров исследованных марок активных углей позволила расположить их по эффективности извлечения фенола в равновесных условиях в ряд: F-200 > АГ-ОВ-1 > АГ-3 > КАД-М. С учетом экономического фактора из исследованных активных углей для водоподготовки подземных вод населенных пунктов России рекомендован углеродный сорбент АГ-ОВ-1, который оптимально сочетает хорошо развитую поверхность с максимальным наличием мезо- и микропор и хорошие сорбционные свойства. Экспериментальные исследования сорбционного метода очистки подземных вод проведены также в других населенных пунктах Новосибирской и Кемеровской областей (см. таблицу).

Авторами разработан способ модификации угольных сорбентов, повышающий их сорбционную емкость по фенолу и хлорфенолу в 1,5–2 раза.

В результате ранее проведенных исследований рекомендована обратная водяная промывка угольной загрузки промыщленных сорбционных фильтров с интенсивностью 14 л/(с·м²) и периодичностью 1 раз в двое или трое суток в зависимости от качества обрабатываемой воды [5, 6]. В процессе работы сорбционных фильтров требуется периодическая их регенерация (через 1–2 года) для восстановления сорбционной способности активных углей способом термической регенерации, обеспечивающим восстановление сорбционной емкости на 90–98 %.

Список литературы

1. Сколубович, Ю. Л. Подготовка питьевой воды из подземных источников : монография. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2008. – 188 с.
2. Когановский, А. М., Клименко, Н. А., Левченко, Т. М., Рода, И. Г. Адсорбция органических веществ из воды. – Ленинград : Химия, 1990. – 256 с.
3. Казанцев, А. Е., Ремез, В. П. Сорбционные материалы на носителях в технологии обработки воды // Химия и технология воды. – 1995. – Т. 17, № 1. – С. 50–60.
4. Когановский, А. М. Адсорбция и ионный обмен в процессах водоподготовки и очистки сточных вод. – Киев : Наукова думка, 1983. – 240 с.
5. Войтов, Е. Л., Сколубович, Ю. Л. Подготовка питьевой воды из поверхностных источников с повышенным природным и антропогенным загрязнением. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2010. – 216 с.
6. Войтов, Е. Л., Сколубович, Ю. Л. Подготовка питьевой воды из подземных источников в экологически неблагоприятных регионах. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2010. – 220 с.

УТИЛИЗАЦИЯ ПРОМЫВНЫХ ВОД ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Ю.Л. Сколубович*, Т.А. Краснова**, Д.Д. Волков***,
А.М. Пономаренко****, Е.Л. Войтов*,
В.С. Петросян*****, Е.И. Пузырев*****,
Е.С. Гогина*****

В статье рассматривается обработка промывочной воды очистных сооружений открытых источников воды. Приведены результаты экспериментальных исследований по выбору эффективного реагента, очистки и утилизации промывочной воды фильтров. Предложена новая технология очистки и многократного повторного использования промывной воды станций очистки воды открытых поверхностных источников.

Ключевые слова: промывные воды, осветление, отстойник, реактор-осветитель, коагулянт, уплотнитель, сульфат, оксихлорид алюминия, осадок, экспериментальная установка, обезвоживание.

Введение

Повторное использование промывных вод является одним из основных мероприятий, обеспечивающих ресурсосбережение, повышение эффективности работы и экологической безопасности водоочистных станций [1].

В соответствии с существующими нормами, промывка скользких водопроводных фильтров проводится водой питьевого качества, забираемой из резервуаров чистой воды. Расход чистой

* Д-р техн. наук, профессор кафедры водоснабжения и водоотведения НГАСУ (Сибстрин)

** Д-р техн. наук, профессор КемГУ

*** Зам. генерального директора ОАО «Северо-Кузбасская энергетическая компания»

**** Генеральный директор МГУП «Мосводоканал»

***** Д-р хим. наук, профессор МГУ им. М.В. Ломоносова

***** Д-р техн. наук, профессор, председатель Экспертно-технологического совета Российской ассоциации водоснабжения и водоотведения

***** Канд. техн. наук, доцент НИ МГСУ

промывной воды составляет до 15 % от общей производительности водоочистной станции и на водоподготовку затрачиваются значительные ресурсы [2]. Отработанная промывная вода на большинстве водоочистных станций сбрасывается без очистки в поверхностные водоисточники либо в существующие сети городской канализации с последующей подачей их на очистные сооружения канализации. В некоторых случаях сброс осуществляется в специально устраиваемые сооружения с использованием существующего рельефа местности. Строительные нормы и правила рекомендуют возвращать отработанную промывную воду в голову водоочистных сооружений [2]. Эта технология имеет недостаток, так как сложно обеспечить равномерность подачи в головные сооружения очистки и постоянство концентраций загрязнений в промывных водах в течение суток, а также подобрать рабочие дозы реагентов для оптимального протекания процесса очистки речных вод.

Предлагаемая технология

Предлагается технологическая схема станции водоподготовки с реагентным осветлением и многократным использованием промывных вод фильтровальных сооружений в замкнутом цикле [3]. Сооружения реагентного осветления и многократного использования промывных вод (рис. 1) состоят из двухсекционного непроточного отстойника, оборудованного трубопроводами сброса отработанной промывной воды в любую секцию отстойника, трубопроводом подачи очищенной промывной воды на промывку реактора-осветлителя и скорого фильтра, промывного насоса, трубопроводов подачи реагентов и отведения осадка на обработку и утилизацию.

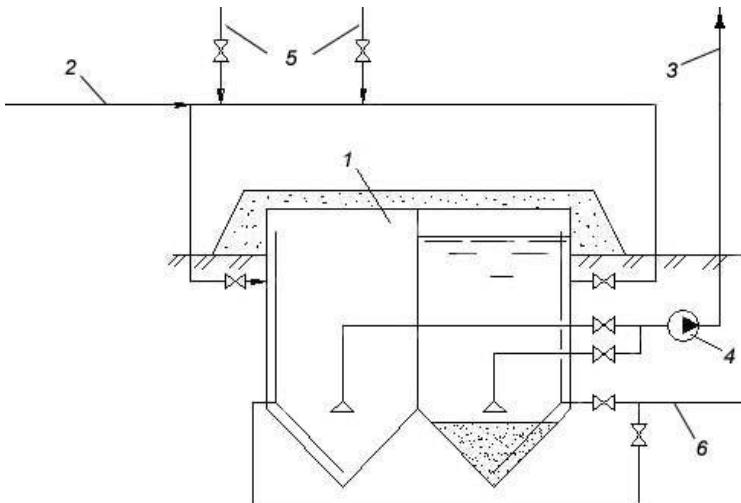


Рис. 1. Сооружения реагентного осветления и многократного использования промывной воды:

- 1 – двухсекционный отстойник промывной воды; 2 – трубопровод сброса отработанной промывной воды; 3 – трубопровод подачи очищенной промывной воды на промывку; 4 – промывной насос; 5 – трубопроводы подачи реагентов; 6 – трубопровод отведения осадка на обработку и утилизацию

Две секции отстойника 1 поочередно меняются по назначению: одна, наполненная, секция используется для хранения осветленной промывной воды для промывки фильтровальных сооружений, другая, пустая, – для приема, коагулирования и отстаивания сбросной промывной воды сооружений, смешанной с растворами реагентов, выделения гидроксидного осадка с целью его дальнейшей утилизации.

Экспериментальные исследования

Например, исследования, проведенные на водоподготовительных сооружениях в Новосибирской области, показали следующее: среднее содержание взвешенных веществ в исходной промывной воде фильтров составляло от 150 зимой и до 300 мг/л летом. Результаты характерных опытов по коагуляции и осветлению промывной воды на установке НФС г. Куйбышева представлены в таблице.

Таблица
Результаты характерных опытов по коагуляции и осветлению промывной воды

Месяц года. Температура воды	Реагенты – доза, мг/л		Осредненные показатели качества осветленной промывной воды				Объем осадка, % от объема промывной воды
	Коагулянт	Флокулянт	Мут- ность, мг/л	Цвет- ность, град	Окисле- мость, мг О ₂ /л	Содержание алюминия, мг/л	
февраль 1–2 °C	СА – 30	ПРС – 0,00	4,8	27	5,2	0,17	8
	ОХА – 10	ПРС – 0,00	3,7	24	5,4	0,06	10
	КФ – 13	ПРС – 0,00	3,6	24	5,3	0,08	10
	СК-1 – 10	ПРС – 0,00	3,0	16	4,2	0,07	7
	СА – 25	ПРС – 0,10	4,1	22	4,9	0,15	6
	ОХА – 8	ПРС – 0,05	3,2	19	4,3	0,07	8
	КФ – 11	ПРС – 0,05	3,3	18	4,5	0,07	10
	СК-1 – 9	ПРС – 0,05	2,9	16	4,1	0,07	6
июль 21–22 °C	СА – 60	ПРС – 0,00	4,2	25	5,3	0,34	15
	ОХА – 20	ПРС – 0,00	3,9	23	5,1	0,14	22
	КФ – 21	ПРС – 0,00	4,0	20	5,0	0,15	21
	СК-1 – 18	ПРС – 0,00	3,0	19	4,5	0,14	14
	СА – 48	ПРС – 0,10	3,5	21	4,5	0,25	10
	ОХА – 16	ПРС – 0,05	3,2	18	4,3	0,12	16
	КФ – 18	ПРС – 0,05	3,2	19	4,4	0,13	18
	СК-1 – 16	ПРС – 0,05	3,0	17	4,0	0,14	12

Примечание. СА – сульфат алюминия, ОХА – оксихлорид алюминия, КФ – реагент «Кемфлок», ПРС – Праестол 650 ТР, СК-1 – новый комбинированный реагент.

В качестве коагулянтов исследованы сульфат алюминия, оксихлорид алюминия, СК-1, Кемфлок, в качестве флокулянтов – ПАА, ВПК-402 и Праестол 650 ТР. Разработанный авторами смешанный коагулянт СК-1 представляет собой смесь водных растворов сульфата и оксихлорида в соотношении 2:1 по Al_2O_3 . Комплексный флокулянт «Кемфлок», разработанный также нами, представляет собой смесь водного раствора композиции гидролизующейся соли алюминия (ГСА) с полидиметилдиаллиламмония гидроксидом. Наилучшие показатели качества отстойянной промывной воды при одинаковых или даже меньших дозах получены с применением нового смешанного коагулянта СК-1. Кроме того, СК-1 обеспечивал наименьший объем более плотного осадка, что имеет большое значение с точки зрения снижения затрат по его обезвоживанию, дальнейшей транспортировке и утилизации. Коагулянт СК-1 приготавливается путем смешивания водных растворов сульфата и оксихлорида в соотношении 2:1 по их активным частям (по Al_2O_3).

Предварительные сравнительные исследования флокулянтов ПАА, ВПК-402 и Праестола 650 ТР показали явное преимущество последнего как в отношении доз, так и в отношении эффективности очистки, поэтому в последующих опытах использовался только Праестол 650 ТР. Применение флокулянта Праестол 650 ТР обеспечивало сокращение расходования коагулянтов на 15–20 %. Для снижения расхода коагулянта СК-1 можно предусмотреть совместно с ним дозирование флокулянта Праестол 650 ТР.

Отстаивание промывных вод скорого фильтра в статических условиях в цилиндрах и в промывных баках показало, что большая часть взвеси выпадает в осадок после введения реагентов в течение 30–40 минут после начала отстаивания. При дальнейшем отстаивании содержание взвешенных веществ в осветляемой промывной воде мало изменяется и составляет менее 3–5 мг/л (рис. 2).

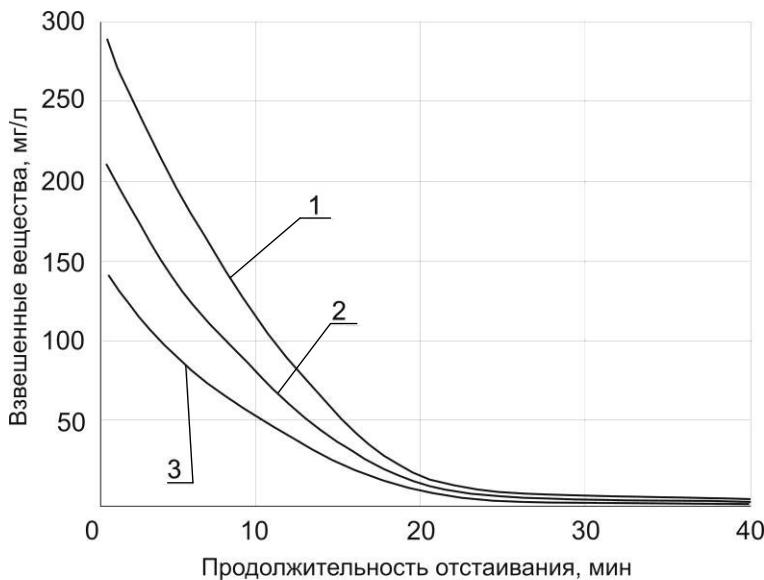


Рис. 2. Зависимость содержания взвешенных веществ в промывной воде от времени отстаивания после ее обработки СК-1:

- 1 – при исходном содержании взвешенных веществ 300 мг/л;
- 2 – при содержании 220 мг/л; 3 – при содержании 150 мг/л

Заключение

Таким образом, расчетная продолжительность отстаивания промывной воды, обработанной реагентами, в непроточном отстойнике может быть принята равной одному часу. Осветленная в одном отстойнике промывная вода используется повторно в технологическом цикле для промывки реакторов-осветлителей и скорых фильтров. Сброс загрязненной промывной воды осуществляется в другой промывной отстойник, в котором она осветляется и используется для следующей промывки.

Наилучшие показатели качества отстоянной промывной воды при одинаковых или даже меньших дозах получены с применением нового разработанного в НГАСУ (Сибстрин) смешанного коагулянта СК-1 [4, 5]. Кроме того, СК-1 обеспечивал наи-

меньший объем более плотного осадка, что имеет большое значение с точки зрения снижения затрат по его обезвоживанию с целью дальнейшей транспортировки и утилизации. Коагулянт СК-1 приготавливается путем смешивания водных растворов сульфата и оксихлорида в соотношении 2:1 по их активным частям (по Al_2O_3). Для снижения его расхода возможно дополнительное применение флокулянта Праестол 650 ТР.

Ресурсосбережение при обработке и повторном использовании отработанных промывных вод фильтров заключается в 10–15 %-ном сокращении потребления чистой питьевой воды и соответствующих затрат на очистку природных вод.

Список литературы

1. Сколубович, Ю. Л. Подготовка питьевой воды из подземных источников : монография. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2008. – 188 с.
2. Войтов, Е. Л., Сколубович, Ю. Л. Подготовка питьевой воды из поверхностных источников с повышенным природным и антропогенным загрязнением. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2010. – 216 с.
3. СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения / Госстрой СССР. – Москва : Стройиздат, 1986. – 136 с.
4. Пат. 2328454. Станция водоподготовки / Е. Л. Войтов, Ю. Л. Сколубович. – Опубл. 10.07.2008, Бюл. № 19.
5. Войтов, Е. Л., Сколубович, Ю. Л., Кармалов, А. И., Сколубович, А. Ю. Очистка и утилизация промывных вод скорых фильтров станций обезжелезивания // Водоснабжение и санитарная техника. – 2011. – № 9/1. – С. 34–38.
6. Сколубович, Ю. Л., Войтов, Е. Л., Никитин, А. М. Повышение эффективности работы водопроводных станций // Водоснабжение и санитарная техника. – 2011. – № 2. – С. 21–25.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ЦИКЛА ГРАВИТАЦИОННОГО ПНЕВМОМОЛОТА С КЛАПАННЫМ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЕМ

П.Н. Тамбовцев^{*}, Э.А. Абраменков^{}, В.Г. Кудрявцев^{***},
А.В. Серебренников^{****}**

Предложена оригинальная конструкция гравитационного пневмомолота для погружения в грунт длинномерных строительных элементов (труб, стержней, свай и т.п.). Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований рабочего цикла устройства, показатели эффективности его работы.

Ключевые слова: забивка труб, пневмомолот, упругий клапан, рабочий цикл, энергия удара, частота ударов.

Введение

В настоящее время широко используются технологии ударного погружения в грунт металлопрофиля. Здесь широко распространены пневмоударные машины двойного действия (пневмопробойники [1], пневмомолоты для забивки труб [2]). Опыт вертикального погружения строительных элементов показывает, что их использование приводит к расшатыванию канатной стяжки молота с профилем, в результате чего снижается производительность и безопасность ведения работ. Применение гравитационного молота исключает эти недостатки, т.е. его можно просто без особой привязки устанавливать на торце забиваемой трубы и воздействовать на нее импульсной нагрузкой в результате свободного падения ударника.

^{*} Канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник ИГД СО РАН, доцент кафедры строительных машин, автоматики и электротехники НГАСУ (Сибстрин)

^{**} Д-р техн. наук, профессор кафедры строительных машин, автоматики и электротехники НГАСУ (Сибстрин),

^{***} Науч. сотрудник ИГД СО РАН

^{****} Магистрант кафедры строительных машин, автоматики и электротехники НГАСУ (Сибстрин)

Конструктивная схема пневмомолота

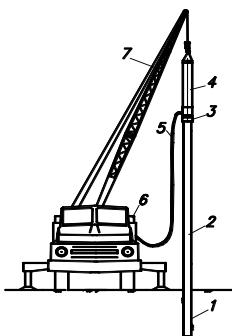


Рис. 1. Схема забивки трубы пневмомолотом:
1 – грунт; 2 – труба; 3 – насадка;
4 – пневмомолот; 5 – магистраль;
6 – компрессор; 7 – автокран

В ИГД СО РАН разработана новая конструкция гравитационного пневмомолота с клапанным воздухораспределением [3]. Молот предназначен для вертикального погружения труб в грунт (рис. 1) и отвечает следующим требованиям: отсутствие реактивных сил отдачи, небольшое потребление сжатого воздуха, надежность и удобство в эксплуатации, компактность конструкции.

Конструктивная схема пневмомолота представлена на рис. 2. При подключении машины сжатый воздух поступает в рабочую камеру 3 из магистрали 5 через камеру 4, отверстие 9. Из нижнего положения под давлением воздуха ударник 1 начинает движение вверх, при этом упругий клапан 6 растягивается, прижимается к внутренней поверхности 10 корпуса 2 и скользит по ней, тем самым герметизирует рабочую камеру.

При прохождении клапаном 6 пазов 11 происходит выхлоп воздуха из рабочей камеры через окна 8.

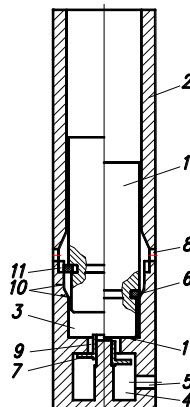


Рис. 2. Конструктивная схема гравитационного пневмомолота

При этом давление на внутреннюю поверхность клапана 6 резко уменьшается, и под действием упругих сил он обратно прижимается к ударнику.

Одновременно из-за перепада давления в камерах 3 и 4 клапан 7 перемещается вверх и перекрывает доступ сжатому воздуху в рабочую камеру. Далее ударник, подлетая до соответствующей высоты, останавливается и за счет гравитации ускоренно движется вниз и наносит удар по наковальне 11 корпуса, жестко связанного с забиваемой трубой. В момент удара клапан 6 соприкасается с поверхностью 10 корпуса, а ударник, воздействуя на клапан 7, смешает его вниз, открывая доступ сжатому воздуху в рабочую камеру 3. Затем цикл повторяется.

Использование в конструкции машины упругого кольцевового клапана минимизирует влияние противодавления воздуха в рабочей камере при прямом ходе ударника. Это достигается благодаря сообщению рабочей камеры с атмосферой через выхлопные окна и зазор между корпусом и ударником, образуемый во время прямого хода. За счет этого кинетическая энергия ударника не снижается перед моментом удара.

Кроме того, наличие упругого клапана устраниет проблему уплотнения рабочей камеры и точного сопряжения ударника с направляющим цилиндром корпуса. Зазор (1–2 мм) между корпусом и ударником позволяет предъявлять невысокие требования к точности изготовления деталей. При работе во влажной и запыленной среде, при минусовой температуре исключена вероятность заклинивания ударника в корпусе. Работа золотникового клапана 7 исключает непроизводительный расход сжатого воздуха, а камера 4 накапливает его в период рабочего хода ударника. Такой конструктивный подход делает устройство экономичным – с низким потреблением сжатого воздуха.

Метод исследования рабочего цикла с использованием математической модели

На основе результатов математического моделирования динамики пневмоломота определены приемлемые значения соотношений его конструктивных параметров, обеспечивающие рациональный режим работы и компактность устройства. Рацио-

нальный режим работы в первую очередь оценивался по энергии удара в установившемся режиме. В данном устройстве энергия удара определяется скоростью (\dot{x}_1), которую ударник получит в конце фазы разгона на обратном ходе до начала выхлопа (координата ударника $x_1 = H_1$ (рис. 3)). При этом, с целью уменьшения расхода воздуха, учитывалась степень его расширения в рабочей камере до начала выхлопа и своевременная отсечка его подачи в камеру, исключая сквозной поток из магистрали в атмосферу.

Расчетная схема пневмомолота с указанием ее основных элементов изображена на рис. 3. Рабочий процесс воздухораспределения молота описывается системой дифференциальных уравнений (1), отражающих изменение движения ударника, давления и температуры сжатого воздуха в i -камере.

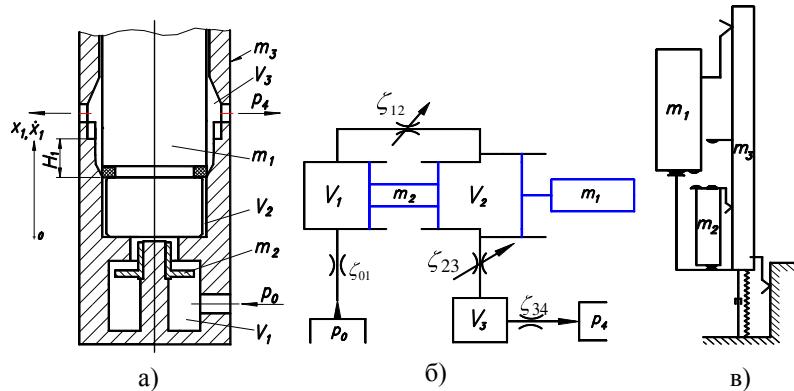


Рис. 3. Расчетная схема пневмомолота:
а – конструктивная схема узла воздухораспределения;
б – схема пневматических связей; в – схема механических связей

Принятые обозначения: V_i – объемы камер; ζ_{ij} – площади воздухопроходных сечений; m_1, m_2, m_3 – массы ударника, клапана отсечки и корпуса соответственно; x_1, x_2 – перемещение масс m_1, m_2 ; S_{21}, S_{12}, S_{22} – эффективные площади масс m_1, m_2 ;

T_i , T_0 – абсолютная температура сжатого воздуха в i -й камере, магистрали; p_0 , p_i – абсолютное давление сжатого воздуха в магистрали и i -й камере.

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= \frac{1}{m_1} (\Phi_{21} - p_0) F_1; \quad \frac{dx_1}{dt} = \dot{x}_1; \\ \frac{dx_2}{dt} &= \frac{1}{m_2} (\Phi_{12} - p_0) S_{22}(p_2 - p_0) - F_2; \quad \frac{dx_2}{dt} = \dot{x}_2; \\ \frac{dp_1}{dt} &= \Pi_1 \cdot \frac{\kappa}{V_1}; \quad \frac{dp_2}{dt} = \left(\Pi_2 - p_2 \frac{dV_2}{dx_1} \right) \cdot \frac{\kappa}{V_2}; \quad \frac{dp_3}{dt} = \Pi_3 \cdot \frac{\kappa}{V_3}; \\ \frac{dT_1}{dt} &= \frac{T_1}{V_1 \cdot p_1} \left(V_1 \frac{dp_1}{dt} - \Pi_1 \right); \quad \frac{dT_2}{dt} = \frac{T_2}{V_2 \cdot p_2} \left(V_2 \frac{dp_2}{dt} + p_2 \frac{dV_2}{dt} - \Pi_2 \right). \end{aligned} \quad (1)$$

Параметр Π_i характеризует приход и расход сжатого воздуха в i -й камере ($i = 1, 2, 3, 4$): $\Pi_i = \sum Q_{i-1,i}$. Основу для выражения Π_i составляет формула Сен-Венана – Ванцеля – расхода $Q_{i,i+1}$ потока воздуха из камеры i в камеру $i+1$:

$$Q_{i,i+1} = \frac{K \cdot p_i}{\sqrt{R \cdot T_i}} \cdot \zeta_{i,i+1} \cdot \psi \left(\frac{p_{i+1}}{p_i} \right), \quad \text{где} \quad K = \sqrt{2 \cdot g \cdot \kappa / (\kappa - 1)},$$

K – показатель адиабаты, g – ускорение свободного падения, R – универсальная газовая постоянная, $\zeta_{i,i+1}$ – площади воздухопроходных сечений между камерами, $\psi(p_{i+1}/p_i)$ – функция расхода.

В результате анализа решений, полученных для различных сочетаний значений конструктивных параметров, определены их приемлемые значения, обеспечивающие рациональную настройку работы машины.

Экспериментальные исследования пневмомолота

На основе расчетных данных разработана физическая модель гравитационного пневмоударного узла с массами: корпуса

19,4 кг, ударника – 8,2 кг (рис. 4). Экспериментальные исследования рабочего цикла устройства были проведены на стенде, представленном на рис. 4. В задачу экспериментов входило измерение: рабочего хода ударника, энергии и частоты ударов, расхода сжатого воздуха, давления в камерах сжатого воздуха в течение рабочих циклов машины.

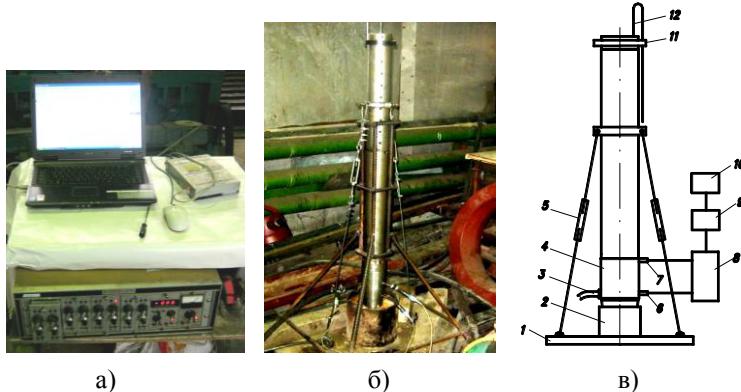


Рис. 4. Стенд для экспериментального исследования рабочего цикла гравитационного пневмомолота:
а – измерительная аппаратура; б – внешний вид ударного узла;
в – общая схема стенда: 1 – основание на фундаменте; 2 – поглотитель
ударных импульсов; 3 – магистраль; 4 – ударный узел; 5 – канатная
стяжка; 6 – датчик давления в накопительной камере; 7 – датчик
давления в рабочей камере; 8 – усилитель сигнала; 9 – АЦП;
10 – переносной компьютер; 11 – держатель щупа; 12 – щуп
для измерения хода ударника

Экспериментальные и расчетные диаграммы рабочего цикла пневмомолота

На рис. 5 показаны характерные для данного устройства диаграммы рабочего цикла, отражающие ход внутренних динамических процессов. Здесь $p_i(t)$ – графики изменения абсолютного давления сжатого воздуха в камерах 1, 2; $x_i(t)$ – перемещения ударника в период рабочего цикла. Диаграммы на рис. 5а получены расчетным путем при решении системы урав-

нений. Диаграммы $p_i(t)$, изображенные на рис. 5б, получены прямым измерением с помощью датчиков давления, ход ударника измерялся с помощью щупа 12 (рис. 4). Выходные параметры работы пневмоударного узла представлены в таблице.

Расчеты на математической модели и физические эксперименты показали стабильный запуск и работу ударного устройства. Расчетные и экспериментальные диаграммы схожи, на них видно, что момент открытия выхлопа из камеры 2 (начало резкого падения кривой $p_2(t)$) и момент закрытия клапана (начало резкого возрастания давления p_2) практически совпадают, т.е. здесь клапан отсечки исключает прямой поток воздуха в атмосферу из магистрали. Давление в рабочей камере перед выхлопом составляет 0,27 МПа (рис. 5б), что говорит о хорошей степени расширения воздуха и экономичности расхода. В опытах (см. табл. 1) абсолютный расход составил $0,12 \text{ м}^3/\text{мин}$, удельный расход $q = Q/N = 21,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{Дж}$.

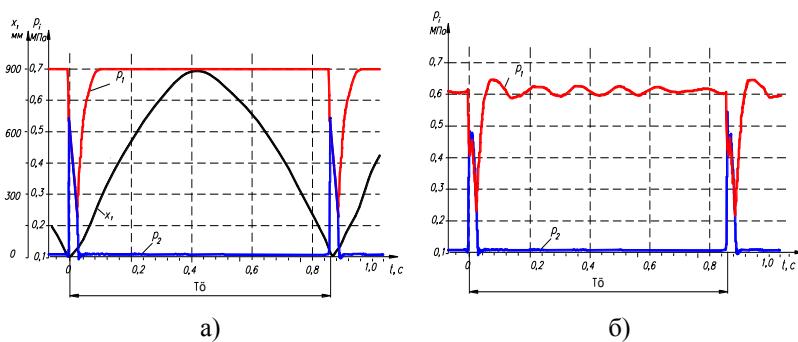


Рис. 5. Диаграммы рабочего цикла:
а – расчетные на математической модели; б – экспериментальные

Таблица 1
Характеристики гравитационного пневмомолота

Показатели	Расчетные данные	Экспериментальные данные
Давление в магистрали p , МПа	0,6	0,6
Площадь магистр. сечения, см^2	0,196	0,196
Масса ударника m , кг	8,2	8,2
Энергия удара A , Дж	72	83 ± 5
Частота ударов f , Гц	1,16	1,1
Ход ударника H , мм	894	1030 ± 50
Ударная мощность N , Дж/с	84	91
Расход воздуха Q , $\text{м}^3/\text{мин}$	0,09	0,12*
Удельный расход q , $\text{м}^3/\text{Дж}$	$17,8 \cdot 10^{-6}$	$21,9 \cdot 10^{-6}$
Габариты: длина/диаметр, мм	–	1310/104

Примечание. * расход воздуха определялся расчетным путем на основе экспериментальных диаграмм давления по формуле: $Q = \frac{p_2 \cdot V_0 + S_{21} \cdot x \cdot T_a \cdot f \cdot 60}{T_2 \cdot p_a \cdot \mu}$, где μ – коэффициент расхода [4].

Заключение

В табл. 2 представлено сравнение технических характеристик современных промышленных пневмомолотов «Тайфун», созданных в ИГД СО РАН, и выходные характеристики динамически подобных промышленных образцов нового гравитационного пневмомолота с массами ударника 500 и 1000 кг. Из табл. 2 видно, что параметры сравниваемых типов машин сопоставимы. Рабочий цикл гравитационного пневмомолота обеспечивает невысокий удельный расход скатого воздуха и может быть разработан с различным сочетанием энергии и массы.

Таблица 2

Технические характеристики пневмомолотов

Параметры	Гравитационный пневмомолот		Пневмомолот «Тайфун»	
Масса ударника, кг	500	1000	500	1000
Давление избыт., МПа	0,6	0,6	0,6	0,6
Энергия удара, кДж	5	10	4	9
Частота ударов, Гц	1,1	1,1	1,25	0,9
Расход воздуха, м ³ /мин	7,2	14,5	8	14,5
Удельный расход, м ³ /Дж	$21 \cdot 10^{-6}$	$22 \cdot 10^{-6}$	$21 \cdot 10^{-6}$	$29,8 \cdot 10^{-6}$

Список литературы

1. Гурков, К. С. Климашко, В. В., Костылев, А. Д. и др. Пневмопробойники. – Новосибирск, 1990. – 217 с.
2. Смоляницкий, Б. Н., Червов, В. В., Трубицын, В. В., Тищенко, И. В., Вебер, И. Э. Новые пневмоударные машины «Тайфун» для специальных строительных работ // Механизация строительства. – 1997. – № 7. – С. 5–8.
3. Пат. 143973 РФ. Гравитационная пневмоударная машина / П. Н. Тамбовцев. – Опубл. 10.08.2014, Бюл. № 22.
4. Герц, Е. В. Пневматические приводы. Теория и расчет. – Москва, 1969. – 359 с.

ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

УДК 378.3

ВЛИЯНИЕ БЮДЖЕТНОГО ФИНАНСИРОВАНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УНИВЕРСИТЕТОВ

Д.А. Обозный*

Работа представляет вниманию результаты анализа эффективности крупных вузов России. Осуществлена проверка гипотез положительного влияния объемов бюджетного финансирования на показатели мониторинга эффективности. Установлено, что объем субсидии оказывает влияния на способность вуза развивать приносящую доход деятельность, однако полностью отсутствует влияние объемов субсидии на возрастной состав ППС вуза и результативность научных исследований.

Ключевые слова: эффективность вузов, бюджетное финансирование, качество образования, результативность вузовской науки.

Введение

Один из вопросов современной повестки системы высшего образования России – это вопрос повышения эффективности вузов. Реализация идет по нескольким направлениям одновременно. Среди избранных направлений – изменение системы финансирования высшей школы, реализация крупных финансовых проектов по поддержке передовых вузов, выстраивание иерархии высших учебных заведений и система мониторинга показателей их эффективности. К сожалению, не удалось найти ни количественной, ни качественной оценки взаимного влияния важнейших факторов, характеризующих существующие изменения. Целью работы стала оценка влияния изменения системы и объемов финансирования высшей школы на показатели эффективности.

1. Постановка задачи

Начиная с 2013 года осуществлялся мониторинг эффективности вузов. Показатели эффективности достоверно отражают

* Канд. экон. наук, доцент кафедры управления, социологии и экономики НГАСУ (Сибстрин)

достигнутые результаты по всем основным направлениям, в связи с чем в работе для анализа выработаны гипотезы, которые на основании сгенерированной выборки данных были проверены на достоверность. Положительная динамика оценивалась бы как свидетельство эффективности новой системы финансирования.

2. Результаты расчетов

В результате установлено, что изменение системы финансирования оказывает положительное влияние на качество образовательного процесса, однако отмечено отсутствие значимого влияния изменениям финансирования вузов выборки на показатели экономической автономности, эффективность привлечения молодежи в вузы и на научные показатели эффективности.

Оценка эффективности деятельности образовательной сферы – это актуальная тема, которая находится в контексте всероссийской дискуссии об эффективности государственных расходов вообще и на образование в частности. Понятие «эффективность» носит контекстуальный аспект и трактуется исследователями в зависимости от целей оценивания [1]. Образование – это особая отрасль, которая помимо экономического эффекта влечет за собой эффекты внешние, получателями которых являются все члены общества. Эти эффекты связаны с повышением уровня человеческого капитала, общего культурного и социального уровня территории, улучшением условий и качества жизни, повышением потребительских запросов. Все это формирует базу экономического развития и роста. Входящие и исходящие факторы эффективности образования носят сложный характер как с позиции измеримости, размерности, методик определения, так и вариантов трактовок. Эти особенности затрудняют применение традиционных методов оценки эффективности, построенных на парном соотнесении выходных и входных параметров. По аналогии с управлением корпорацией, в основе принципов стимулирования эффективности лежит прямая связь между ключевыми показателями эффективности и величиной бонусов того или иного рода. Однако теснота парной корреляции между входными и выходными параметрами эффективности в подавляющей части незначительна, тем самым не подтверждается ги-

потеза о присутствии в системе финансирования принципов распределения финансов на основе KPI (англ. Key Performance Indicators – ключевые показатели эффективности). Для оценок эффективности предприятий общественного сектора более успешно применяют стохастические методы и методы линейного программирования типа DEA (англ. Decision Making Unit – анализ оболочки данных) [1–3]. Применение данных методов позволяет оценивать эффективность по сложным параметрам, например по репутационным показателям вузов [4], либо анализировать показатели эффективности учреждений в процессе реструктуризации и реформирования [5].

За последние пять лет утвердилось несколько новаций в области оценки эффективности образовательных учреждений. Это система мониторингов и различные рейтинги вузов, которые учитывают как финансовые, производственные, так и социальные показатели. В качестве информационной базы исследования использованы данные мониторинга эффективности высшей школы [6]. В действующей системе мониторинга оценка эффективности методом соотнесения входящих и исходящих параметров не производится. По данным мониторинга мы получаем некоторый набор количественных параметров, не привязанных к тем затратам, которые были осуществлены для достижения тех или иных показателей [7]. Система мониторинга должна представлять собой систему объективной оценки качества и количества предоставляемых обществу услуг вузами. Прежде всего оценим степень применимости данной информационной базы для задач исследования и насколько данные мониторинга соответствуют реальным процессам. В соответствии с законами и нормами, объем задания, подкрепленного гарантированным финансированием, зависит от качества [8] и объема [9] выполняемых вузом услуг. С 2011–2012 годов осуществляется переход от сметного к нормативно-подушевому финансированию вузов. Поэтому оценка степени влияния объемов задания, выполняемого вузом, на объем финансирования, а также динамика этих соотношений позволяют определить качество информационной базы.

Отбор вузов для анализа проведен на основе задач исследования. Реформирование структуры подведомственных учреждений Министерства образования и науки привело к тому, что во-зобладала концепция создания «сильных» и поддержки «сильных». Создание точек роста привело к складыванию многоуровневой структуры подведомственных Минобрнауки РФ учреждений. Первый уровень – университеты, подчиняющиеся правительству, далее федеральные университеты, группа национальных исследовательских университетов, ниже – региональные опорные университеты (обозначим эту группу вузов – вузы первого эшелона). Исходя из декларируемых целей реформы, полагаем, что созданные учреждения либо учреждения, которые добились столь высокого статуса, максимально удовлетворяют принципам эффективности. Остальные университеты (вузы второго эшелона) функционируют в рамках старых управленческих моделей. Они обладают значительными различиями, региональными и отраслевыми особенностями. Для проверки гипотез была сформирована выборка из вузов второго эшелона. Были отобраны 33 крупных вуза из разных регионов, с различной отраслевой ориентацией (с численностью более 10000 студентов), подведомственных Минобрнауки РФ.

Предполагаем, что группа федеральных университетов, национальных исследовательских университетов, региональных опорных университетов, будучи некоторой идеальной моделью и результатом реформ, помогут нам достоверно оценить, удалось ли повысить эффективность расходования бюджетных средств, направляемых в эти вузы.

В данных мониторинга отсутствует информация о том, сколько студентов обучается за счет субсидии на госзадание, однако учитывая, что абитуриенты с более высокими баллами претендуют на бюджетные места, то информацию о доле бюджетников может дать средний балл ЕГЭ, отражающий качество абитуриентов. Также известно, что норма финансирования отличается в зависимости от направлений подготовки. Технические специальности требуют дополнительного оснащения оборудованием, дополнительных помещений для лабораторий,

опытных производств, ввиду чего у этих вузов выше обеспеченность площадями. Таким образом, площади, даже при отказе от нормативно-сметного финансирования, будут положительно влиять на объем субсидирования в рамках нормативно-подушевого финансирования. Сокращение доли контингента, поступающего на технические специальности, может искажать данные, но это в большей степени будет касаться избыточных площадей в вузах второго эшелона. Проведенная проверка говорит о том, что теснота связи между переменными в модели за анализируемый период (2014–2015 годы) увеличилась (табл. 1, 2). Анализ данных позволяет сделать вывод, что за этот период улучшилось качество распределения базового финансирования, размер которого в значительной степени зависит от количества студентов. На основании этого можем заключить, что данные мониторинга отражают реальные процессы реформирования образования и могут быть использованы для дальнейшей оценки эффективности.

В качестве ключевых выходных параметров эффективности принимаем: общее количество публикаций организации в расчете на 100 НПР (e1); количество цитирований публикаций, изданных за последние 5 лет, индексируемых в информационно-аналитической системе научного цитирования Web of Science в расчете на 100 НПР (e2); количество цитирований публикаций, изданных за последние 5 лет, индексируемых в РИНЦ в расчете на 100 НПР (e3); НИОКР, выполненных собственными силами (e4); доходы вуза из внебюджетных источников (e5); численность ППС моложе 65 лет (e6); численность ППС моложе 40 лет (e7). Данные берем по итогам мониторинга 2014, 2015 и 2016, проведенного Минобрнауки РФ¹.

¹ Дальнейший мониторинг по данным параметрам эффективности прекращен по необнародованным причинам. Мы можем строить только версии, не исключаем, что по тем же причинам, что и привели нас к нижеприведенным выводам. Дальнейший анализ рядов стал невозможен, но, учитывая динамику и глубокие несоответствия в моделях ожидаемых и фактических взаимосвязей, он вряд ли принципиально изменил бы картину в обозримом временном горизонте.

Таблица 1

Вся выборка (мониторинг 2016)

<i>Регрессионная статистика</i>			
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>
R-квадрат	0,669081771		
Наблюдения	118		
<i>Дисперсионный анализ</i>			
	<i>Коэффициенты</i>	<i>Стандартная ошибка</i>	<i>t-статистика</i>
Y-пересечение	-3910831,406	857826,9652	-4,558997985
Количество студентов	18,39325613	17,02744854	1,08021211
Площадь помещений	59241,44731	11959,83955	4,953364723
Средний балл ЕГЭ	5,163215769	0,70791363	7,293567393

Таблица 2

Динамика по эшелону 1

<i>Регрессионная статистика</i>			
	2014	2015	
R-квадрат	0,641438613	0,588498697	
Нормированный R-квадрат	0,609800843	0,552189758	
Стандартная ошибка	979759,7687	986360,0981	
Наблюдения	38	38	

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика
			2014
Y-пересечение	-3837595,312	1440473,952	-2,664119893
Количество студентов	15,02550371	28,33564988	0,530268541
Площадь помещений	60062,31284	18338,88428	3,275134513
Средний балл ЕГЭ	60062,31284	18338,88428	3,275134513

	2015	
Y-пересечение	-4596016,373	1600582,218
Количество студентов	36,02361229	27,4390396
Площадь помещений	67731,21201	20249,39274
Средний балл ЕГЭ	4,733642556	1,033801302

Используя эти данные, сформулируем и оценим эффективность системы финансирования вузов в рамках трех моделей. Эффективное распоряжение бюджетными средствами представляет собой умение не только обеспечить исполнение госзадания по подготовке кадров, но и проведение научных исследований штатными ППС в рамках должностных инструкций доцентов и профессоров, а также в рамках госзадания на НИР. Кроме того, вуз должен создать необходимый задел для обеспечения воспроизводства ресурсов, обеспечить привлечение дополнительного финансирования в рамках осуществления приносящей доход деятельности.

Модель 1. «Эффективность привлечения дополнительного финансирования». Предполагаем: размер бюджетного финансирования положительно оказывается на способности вуза самостоятельно зарабатывать деньги (параметры е4, е5). В свое время одним из важных показателей эффективности менеджмента вуза считалась способность обеспечить рост доли внебюджетного финансирования всех видов деятельности вузов. Очевидно, что большая ресурсная база, созданная за счет субсидии, должна обеспечить привлечение большого объема ресурсов из других источников. Доля внебюджетных источников в доходах анализируемых вузов не превышает 47 % по итогам мониторинга в 2015 г., что больше, чем годом ранее. Таким образом, флагманские вузы компенсировали сокращение бюджетного финансирования за счет иных источников, что с позиции данной модели свидетельствует об эффективности системы финансирования вузов выборки. Хотя в разных вузах, даже из числа флагманов, ситуация может различаться. Анализ данных модели показывает наличие связи между выбранными параметрами, что подтверждает гипотезу об эффективной связи бюджетного финансирования и объемов приносящей доход деятельности. Связь между показателями за анализируемый период значительно увеличилась, что свидетельствует о повышении эффективности финансового менеджмента (табл. 3).

Таблица 3

Модель эффективности 1

<i>Регрессионная статистика</i>			
	<i>2014</i>	<i>2015</i>	
R-квадрат	0,470637961	0,66516109	
Наблюдения	70	70	
	<i>Коэффициенты</i>	<i>Стандартная ошибка</i>	<i>t-статистика</i>
	<i>2014</i>		
Y-пересечение	-191289,455	346485,5075	-0,55208501
Доходы вуза из внебюджетных источников	1,490921508	0,245626725	6,069866823
Объем НИОКР (сост. силами)	0,254029913	0,39577915	0,641847638
	<i>2015</i>		
Y-пересечение	244475,6037	157766,4692	1,54960433
Доходы вуза из внебюджетных источников	0,440198225	0,09853095	4,467613734
Объем НИОКР (сост. силами)	1,185160732	0,171717657	6,901798856

Модель 2. «Эффективность научных исследований». Предполагаем: больший объем финансирования позволяет получить более высокие научные результаты (параметры e1, e2, e3, e5). Результаты представлены в табл. 4. Анализ результатов показателей модели, особенно отрицательные значения коэффициентов (при достаточно высокой объясняющей силе модели для 2015 г.), обращает наше внимание на отсутствие положительной связи между объемом финансирования и достигнутыми результатами научных исследований. Это возвращает нас еще к одной актуальной дискуссии, касающейся вузовской науки и ее результативности. Очевидно, что сегодня вузы более эффективно справляются с задачами образовательными, чем с научными. Такая ситуация в общем не противоречит и европейским тенденциям [12]. В одном мы можем точно не сомневаться – только рост объема финансирования не позволяет получать научные результаты в краткосрочном периоде. Либо надо дать время, либо модель финансирования вузов в этом направлении не вполне эффективна, либо показатели эффективности научных исследований выбраны неудачно. Косвенно это доказывают и скромные результаты российских вузов в международных рейтингах, несмотря на дополнительное программное финансирование.

Модель 3. «Создание кадрового резерва». Предполагаем: объем финансирования вуза положительно оказывается на привлечении молодых кадров (параметры e6, e7). Важной базовой предпосылкой оценки эффективности вуза, его научных и образовательных направлений является способность обеспечить воспроизводство кадров. Этим объясняется пристальное внимание к кадровому резерву и готовности вуза к своевременному замещению сотрудников преклонного возраста молодыми сотрудниками. Отсюда, следом за авторами методики оценки эффективности, предполагаем, что чем выше доля молодых сотрудников, тем более эффективным является вуз. С позиции управления кадрами с этим можно согласиться только отчасти, именно в той части, в которой это говорит о мобилизационном ресурсе, о потенциале молодежи, об эффективности системы поддержки молодежи. Это направление требует отдельного исследования для того, чтобы определить оптимальный вектор кадровой стратегии, границы эффективности (хотя бы разумности) для данного показателя, в конце концов вуз – не спортивная школа.

Таблица 4

Модель эффективности 2

<i>Регрессионная статистика</i>			
	2014	2015	
R-квадрат	0,18406914	0,600735799	
Наблюдения	70	70	
	<i>Коэффициенты</i>	<i>Стандартная ошибка</i>	<i>t-статистика</i>
2014			
Y-пересечение	907111,02	556306,8367	1,630594773
Объем НИОКР (сост. силами)	1,635423365	0,444093628	3,682609392
Кол-во публикаций в расчете на 100 НПР	651,355444	1575,282567	0,41348483
Кол-во цитир. за 5 лет в Web of Science на 100 НПР	-124,4352557	917,8807625	-0,135567996
Кол-во цитир. за 5 лет в РИНЦ на 100 НПР	-278,7039098	857,4434185	-0,325040584
2015			
Y-пересечение	703969,3536	225431,1769	3,122768392
Объем НИОКР (сост. силами)	1,71931491	0,175798841	9,780012772
Кол-во публикаций в расчете на 100 НПР	-213,9165504	565,1268737	-0,378528363
Кол-во цитир. за 5 лет в Web of Science на 100 НПР	-606,4010851	272,3411479	-2,226623079
Кол-во цитир. за 5 лет в РИНЦ на 100 НПР	45,21712807	207,3324883	0,218089931

Результаты модельного анализа говорят о том, что возрастная структура кадрового состава слабо зависит от объема финансирования (табл. 5). Более того, наблюдается отрицательная связь между объемом финансирования и показателем e^7 , в 2014 г. в большей степени, в 2015 г. в меньшей. То есть вузам не удается создать систему масштабного включения молодежи в учебный и образовательный процесс. Причина заключается прежде всего в высоких требованиях к кадрам и, как следствие, в большой дифференциации в оплате труда.

Заключение

Переход от нормативно-сметного финансирования к нормативно-подушевому осуществляется на практике, что делает систему финансирования государственного задания более прозрачной, следовательно, формирует условия для повышения эффективности функционирования системы. Анализ моделей эффективности «вход-выход» демонстрирует правомочность заявлений, что объем финансирования положительно связан с эффективностью образовательной деятельности и качеством образовательной деятельности университета. Однако отсутствует влияние размеров бюджетного финансирования на способность вуза генерировать внебюджетные доходы. И наконец, установлено, что объем государственного финансирования не оказывает никакого значимого влияния на возрастную структуру НПР и на результаты научных исследований в вузах. Эти результаты находятся в общей логике конкретной фазы трансформации системы российских университетов. Учреждения достаточно быстро способны реагировать на изменение показателей, касающихся подготовки кадров, при этом внутренние ресурсы, качество управления, внутренняя культура, состояние научных исследований пока не обеспечивают достижения целей эффективности, поэтому и их замещение финансовыми вливаниями не приводит к желаемому результату.

Таблица 5

Модель эффективности 3

<i>Регрессионная статистика</i>			
	<i>2014</i>	<i>2015</i>	
R-квадрат	0,293889442	0,344472516	
Наблюдения	70	70	
	<i>Коэффициенты</i>	<i>Стандартная ошибка</i>	<i>t-статистика</i>
	<i>2014</i>		
Y-пересечение	-362859,3895	503529,0429	-0,720632493
Числ. ППС моложе 65 лет	6692,927828	2102,039871	3,184015641
Числ. ППС моложе 40 лет	-9079,232049	4506,931267	-2,014504218
	<i>2015</i>		
Y-пересечение	144123,0453	279467,7959	0,515705378
Числ. ППС моложе 65 лет	2979,340739	1054,382953	2,825672334
Числ. ППС моложе 40 лет	-2896,878499	2323,972995	-1,246519863

Список литературы

1. *Федотов, Ю. В.* Метод DEA: анализ свертки данных [Электронный ресурс] // Российский журнал менеджмента. – 2012. – Т. 10, № 2. – Режим доступа: <http://www.cfin.ru/management/controlling/dea.shtml>
2. *Абанкина, И. В., Алекскеров, Ф. Т., Белоусова, В. Ю., Зиньковский, К. В., Петрущенко, В. В.* Оценка результативности университетов с помощью оболочечного анализа данных // Вопросы образования. – 2013. – № 2. – С. 15–48.
3. *Abankina, I. V., Aleskerov, F. T., Belousova, V., Gokhberg, L., Kiselogof, S. G., Petrushchenko, S., Shvydun, S. V., Zinkovsky, K.* From equality to diversity: Classifying Russian universities in a performance oriented system // Technological Forecasting and Social Change. – 2016. – № 103. – P. 228–239.
4. *Abankina, I. V., Aleskerov, F. T., Belousova, V., Bonch-Osmolovskaya, A. A., Petrushchenko, S., Ogorodniyuchuk, D., Yakuba, V. I., Zinkovsky, K.* University efficiency evaluation with using its reputational component // Proceedings of the 4th International Conference on Applied Operational Research / eds. by P. Luangpaiboon, M. Moz, V. Dedoussis. Iss. 4. Bangkok : Tadbir Operational Research Group, 2012. – P. 244–253.
5. *Зиньковский К. В., Деркачев П. В.* Реструктуризация системы высшего образования: оценка результатов объединений вузов // Университетское управление: практика и анализ. 2016. – № 6. – С. 135–145.
6. Методика расчета показателей мониторинга эффективности образовательных организаций высшего образования 2016 года [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_214157/. – Загл. с экрана.
7. *Обозный, Д. А., Шеховцова, Л. В.* Формирование методики оценки эффективности деятельности образовательной организации // Транспортное дело России. – 2016. – № 5 (126). – С. 63–64.

8. Об образовании в Российской Федерации [Электронный ресурс] : федеральный закон РФ от 03.12.2012 № 273 ФЗ (статья 2) // КонсультантПлюс. – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174/. – Загл. с экрана.
9. Об утверждении Правил оказания платных образовательных услуг [Электронный ресурс] : постановление Правительства РФ от 15.08.2013 № 706 // КонсультантПлюс. – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_150870/. – Загл. с экрана.
10. *Обозный, Д. А.* КРІ в системе высшего образования // Инновационное развитие и реализация стратегии формирования экономики знаний в России : материалы Всерос. конф., посвященной 70-летию со дня рождения Р.М. Гусейнова. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2016. – С. 158–164.
11. Информационно-аналитические материалы по результатам проведения мониторинга эффективности деятельности образовательных организаций высшего образования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://indicators.miccedu.ru/monitoring/?m=vpo>
12. *Lehmann, E. E., Warning, S.* The impact of regional endowment and university characteristics on university efficiency [Электронный ресурс] // UO Working Paper Series. № 04-10, 2010. – Режим доступа: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/57892/1/68936976X.pdf>

УДК 882.19

РЕАЛИЗАЦИЯ КОНЦЕПТА «МОЛЧАНИЕ» М. МЕТЕРЛИНКА В ДНЕВНИКАХ М. ПРИШВИНА (1918–1919)

Е.В. Фролова*

Цель работы – исследование влияния философии молчания, базовых концептов книги «Сокровище смиренных» М. Метерлинка на мировоззрение М. Пришвина периода 1918–1919 гг. На материале дневников М. Пришвина анализируется его творческая лаборатория, в которой реализовались и трансформировались концепты «молчание», «смирение», «оптимизм», разработанные в теоретических трудах бельгийского символиста. Делается вывод о культурологической и онтологической поддержке, которую опосредованно оказал М. Метерлинк М. Пришвину в сложнейшие для него переломные годы.

Ключевые слова: М. Пришвин, дневник, М. Метерлинк, концепт «молчание», художественный текст, символизм.

Введение

Творчество М. Пришвина сегодня изучают не только литературоведы, но и культурологи, и философы, поскольку публикация ранее не издававшихся пришвинских дневников и текстов открыла нам всю сложность, многогранность личности и судьбы писателя-натурфилософа, пережившего катастрофы первой половины XX в. Его теория геооптимизма, мужества, преодоления, его психология творчества и принципы жизнедеятельности **актуальны** сегодня как никогда, о чем пишут А. Варламов, Н. Дворцова, З. Холодова и другие исследователи.

Немало научных литературоведческих трудов посвящено и культурологическим, эстетическим перекличкам, дневниковым диалогам М. Пришвина с писателями и философами разных исторических периодов. Но практически ничего не написано о важном и спасительном влиянии на мировоззрение М. Пришвина творчества М. Метерлинка. А между тем Метерлинку,

* Канд. филол. наук, доцент кафедры русского языка НГАСУ (Сибстрин)

его философским трудам посвящены дневниковые записи М. Пришвина в самые трудные послереволюционные годы.

Новизна нашей работы заключается в сравнительном исследовании философских концепций, концептов «молчание», «смирение», «счастье» Метерлинка, реализованных в пришвинских дневниках 1918–1919 гг. и повлиявших на его прозу.

Целью статьи является анализ послереволюционных дневников М. Пришвина как творческой лаборатории писателя, в которой формировались основные идеи, развивались главные эстетические, этические, мировоззренческие принципы, источником которых на раннем этапе был и символист М. Метерлинк.

1. Постановка задачи

В разные периоды своей деятельности М. Пришвин осуществлял литературную коммуникацию то с одним, то с другим автором. В годы гражданской войны русский писатель нашел духовную поддержку у бельгийского символиста Метерлинка. Запись в январе 1919 года: «Вот голос радости Метерлинка, – я не читал его раньше, – но как близко им написанное, будто он был моим другом и учителем» [1, с. 221]. Оказавшись в культурной изоляции, Пришвин читает философские труды Метерлинка – книгу «Сокровище смиренных» и трактат «Мудрость и судьба». Метерлинк попал к Пришвину не случайно, он был очень популярен в начале XX в. Еще В. Розанов заметил в книге «Уединенное» (1912): «В обществе <...> огромное углубление человека. Все стали немножко “метерлинками”, и в этом – суть. Но стали “метерлинками” раньше, чем услышали о Метерлинке» [2, с. 488]. Особенности символизма Метерлинка обсуждались и на собраниях религиозно-философского общества, куда входили и В. Розанов, и М. Пришвин, и многие писатели и учёные начала XX в. [4]. Размышления Метерлинка о смысле искусства, о трагическом и прекрасном в повседневном, о красоте обыденного нашли свое продолжение в текстах Пришвина. Концепт «молчание» у Метерлинка трактуется как важнейшая составляющая всякого творчества и счастья, основа мудрости. Только в молчании человек способен осознать красоту мира, чудо простых повседневных событий, радость пролетающих

мгновений. Эту мысль реализовал М. Пришвин в своем творческом методе «родственного внимания» к природе.

Метерлинк увидел будничное в поэтическом свете, показал очарование и красоту скромного человеческого существования. Метерлинк рассматривал категорию трагического в повседневной жизни и двигался от преодоленного трагического бытия через очищение, созерцание к мудрому, радостному спокойствию и приятию жизни. Эти книги перевернули духовный мир М. Пришвина, дали новое понимание категорий радости, смиренния, страдания, мудрости, взаимоотношений человека, Бога и природы. Возможно, в трагические дни именно идеи Метерлинка о субъективности мировосприятия, о воспитании способности быть счастливым, видеть в малом великое и прекрасное повлияли на формирование основных художественных концепций М. Пришвина. «Размышая о бедствиях жизни, нужно искать доводы, в конце концов решающие, по которым мы все же принимаем жизнь, так как продолжаем жить», – этот совет Метерлинка вдохновил Пришвина [3, с. 179].

Русский писатель приводит в дневниках цитаты из Метерлинка, размышляя над его эстетикой и этикой, развивает концепции, идеи, темы и образы Метерлинка в своем творчестве: от книг «Мирская чаша» (1922), «Родники Берендея» (1925) до сказки «Кладовая солнца» (1945). Пришвина привлекает у Метерлинка и образ дающего радость цветка, который «распускается в молчании» [3, с. 216], и символ чаши, которая «вылила по образу наших чувств и мыслей, словом – сформована на груди нашей внутренней судьбы» [3, с. 247], и размышления о едином потоке жизни, из которого каждый черпает в меру глубины собственной души, и символ счастья – Синяя птица, за которой отправляются в путешествие сироты – мальчик и девочка. В работах М. Пришвина присутствуют переклички с идеями и символами Метерлинка.

М. Пришвин много читал, размышляя над прочитанным в дневниках, творчески перерабатывая отдельные концепции и образы, но всегда находя собственную оригинальную интерпретацию или трактовку интересных для него идей, символов,

теорий. Современная критика (В. Агеносов, Н. Дворцова, З. Холлода и др.) пунктирует влияние на М. Пришвина «философии жизни» Ницше, Бергсона, Джемса, упоминается и Метерлинк. Но именно философия трагического оптимизма яснее всего выражена у Метерлинка и развита у Пришвина. Одним из важнейших этических и творческих принципов М. Пришвина был принцип «геооптимизма», который складывался не сразу. Именно способность увидеть и показать радость в обычном событии, в заурядном природном явлении или факте, позитивное мироощущение делают М. Пришвина уникальным русским художником.

Спасает М. Пришвина в годы безысходности чтение Л. Толстого, Гёте, Метерлинка. В монографии З.Я. Холодовой анализируется формирование художественного мышления писателя и, в частности, высказывается мысль, что «в 1919 году «голос радости Метерлинка» становится для М. Пришвина поддержкой и укрепляет в мысли, что как художник слова он на верном пути» [4, с. 101]. На наш взгляд, в 1920-е гг. М. Пришвин находился на творческом перепутье, шла резкая ломка всех его дореволюционных убеждений, установок. Годы революции и гражданской войны – самые трагические, переломные для писателя, он, как и миллионы людей, оказался в хаосе событий, изменивших его жизнь и в какой-то степени личность. В 1919 г. М. Пришвин погружен в самоанализ, он ищет хоть какие-то доводы в поддержку своего бытия и находит их у Метерлинка. «Нужно, чтобы каждый человек нашел для себя лично возможность жить жизнью высшей среди скромной и неизбежной действительности каждого дня», – замечал бельгийский символист [3, с. 81]. Для М. Пришвина в этот период безнадежного существования «высшей жизнью» являлось чтение и творчество.

Именно благодаря М. Метерлинку М. Пришвин начинает размышлять над философской сутью понятий «молчание», «мгновение», «радость», «мудрость», «повседневность». Он, интуитивно пришедший к мысли, что главный предмет творчества – не исключительные события, а душевная и обыденная жизнь человека, нашел подтверждение этому у бельгийского

драматурга. Идея молчаливого творчества жизни вдохновляет писателя. В книге «Сокровище смиренных», в главе «Молчание», Метерлинк дает глубокий анализ роли молчания в интеллектуальной и эмоциональной жизни человека: «Молчание – та стихия, в которой образуются великие дела <...> Истинная жизнь, единственная, оставляющая какой-либо след, соткана из молчания» [3, с. 10]. М. Пришвин вынужден был молчать как писатель в годы революции и гражданской войны, но именно в эти годы он формировался как мыслитель: учился наблюдать, размышлять и обобщать. Дневники 1918–1922 гг. передают весь спектр бытия писателя: от социальных, бытовых неурядиц, ощущения эмоционального хаоса до глубоких философских раздумий, исторического анализа действительности.

Возможно, именно аналитический склад ума М. Пришвина-ученого спас его в 1920-е гг. от саморазрушения, которому подвергались эмоционально тонкие писатели, а народный здравый смысл и смекалка спасли бывшего агронома от физического уничтожения. «Я по природе своей ученый, поэт и философ», – записал он уже в 1952 году [5, с. 604]. Ученым М. Пришвин становится на переломе XIX и XX вв., поэтом – в начале XX в., а философская мудрость и смиление начали формироваться именно в годы революции и гражданской войны, обретя наиболее полное художественное выражение в 1930-е гг.

Думается, что выработанная способность к молчанию, умение сдерживать себя сыграли также важную роль в дальнейшем относительно благополучном существовании. «При чтении “Молчания” Метерлинка мне пришло в голову понять наше говорливое трескучее время со стороны молчания: понять, о чем русские люди молчали во время коммуны, не умалчивали под давлением внешней силы, а молчали, потому что этого нельзя сказать. Кто знает, быть может, еще цензурное насилие над словом играет роль снега, засыпавшего теперь наши поля: он губит стебли и цветы, но сохраняет молчаливые подземные корни», – записывает М. Пришвин в 1919 г. [1, с. 219]. Мысль перекликается с пушкинской фразой «народ безмолвствует», подчеркивая трагическое социальное напряжение и противостояние.

Именно в эти дни М. Пришвин работает над незаконченной повестью «Цвет и крест» («Подзаборная молитва»), где переплелись зарисовки голодного быта, революционные настроения, тоска народа по земле и хлебу, размышления о любви и власти. Особенностью стиля книги «Цвет и крест» является сочетание публицистики и лирико-философских зарисовок, простоты спонтанных записей и глубины символических обобщений.

Символы креста, распятия, Голгофы появляются в пришвинских произведениях, связанных с трагическими страницами истории России, будь то бунт староверов, война или революция. Но все более глубокое убеждение в спасительной роли православной веры возникает именно в 1918–1919 гг. Приближение к идеи христианского смирения, обращение к Евангелию и религиозным писателям помогает М. Пришвину выстоять в мире хаоса и разрушения. «Крест молчания. Молчание – общий признак, характеристика сил земных, рождающих цвет, и если я сейчас назову эту силу молчания русской земли – крест, то это слово верное не будет словом действенным, потому что оно слишком рано вперед забегающее слово», – связывает идеи Метерлинка и символику своей книги М. Пришвин [1, с. 220]. Из молчания рождается цвет, цветение, продолжение жизни и высшая радость, не связанная с реалиями бытия.

М. Пришвин вступает в литературный диалог с Метерлинком, когда пишет: «Можно представить себе человека радостным и счастливым и во время такой “страды”, как нынешняя, и даже плывущим на бревне разбитого судна. Спросят, как же это можно так быть радостным и счастливым, когда все вокруг гибнут. “Друзья мои, – отвечаю – да я уже в этом вашем горе-несчастье был, а может быть, я такой, как вы, давно погиб: и живу не вашим горем-радостью, а тем светом, который увидел я, погибая, светом, незримым для вас”» [1, с. 225].

Мысли о радости в дневнике М. Пришвина изложены как притча, которая в какой-то степени объясняет, почему М. Пришвин не уехал из России. Герой ведет «отчаянных» людей через тьму к свету и говорит: «По несчастью я с вами, и уйти от вас никуда не могу и не хочу. Я иду с вами вместе по этой

темной лощине, и мне с вами вместе идти и, может быть, погибнуть, но я знаю, что вот за горою свет, а вы не хотите знать» [1, с. 225]. Символистская история возводится до религиозного обобщения, когда невежественная отчаявшаяся толпа убивает героя: «И они ели тело мое и пили кровь мою. Радостно отдал я им все и радостно слился с Отцом своим» [1, с. 225]. Аллюзия с библейским сюжетом неслучайна. М. Пришвин в разных текстах называл своего героя «Распятым», несущим крест страдания среди всеобщего упадка.

О душевном очищающем свете писал Метерлинк, сближая человека и Бога. «Может быть, человек не что иное как Бог, объятый страхом?» – размышлял он [3, с. 75]. И добавлял, что изменяет, «научает нас только катастрофа» [3, с. 83]. Горе делает человека мудрее, пробуждает «божественные воспоминания». Мысль об очистительной и животворной роли страдания, которое питает творчество, была популярна и ранее. Метерлинк идет дальше, утверждая, что «быть мудрым значит прежде всего быть счастливым» [3, с. 219]. Избавляясь от страха через катастрофу, человек в своей мудрости приближается к Богу, получает свободу бесстрашно существовать и творить. Метерлинк уверен, что истинный художник может говорить «о каком-то невидимом счаstии посреди страданий весьма реальных» [3, с. 118]. Именно это вынес для себя М. Пришвин из текстов Метерлинка и стал проводником радости в мире скорби.

Другой источник радости М. Пришвина – природа, у которой писатель черпал силы, сравнивая себя с Антеем. Он пытается, по Метерлинку, «из глубины печали и несчастья следовать за великим указующим жестом природы, единственно реальным» [3, с. 240]. Постепенно формируется пришвинская концепция «родственного внимания». Пришвин размышляет о необходимости выработать привычку наблюдать жизнь и цитирует Метерлинка: «Гораздо важнее увидеть жизнь, чем изменить ее, потому что она сама изменяется с того мгновенья, как мы ее увидали» [1, с. 226]. Русский писатель учился смотреть на мир в свете вечности, красоты и любви, признавая в этом свое спасение. Художественное воплощение обретенных концепций

осуществилось после 1924 г., а до этого в 1922 г. была написана, но не издана одна из самых трагических книг М. Пришвина «Мирская чаша», которая осталась молчаливым свидетелем послереволюционных дней и была опубликована только в наше время.

Заключение

В дневниках 1918–1919 гг. М. Пришвин выступает как летописец катастрофы, максимально откровенно раскрывает собственное состояние отчаяния, неуверенности, нереализованности. И только обращение к «вечным спутникам» – писателям, философам, книгам – делает его жизнь более стабильной и наполненной смыслом. Принцип молчания как спасения, сформированный под воздействием Метерлинка, стал для него основополагающим на долгие годы. «В тексте дневника 1919 г. важную роль играет мотив молчания, с которым связан образ сфинкса (“народ сфинкс”). В России традиционно носителем молчания, таящим в себе Слово, был народ», – размышляет литературовед Я.З. Гришина над природой напряженного революционного молчания, замеченного М. Пришвиным [6, с. 298]. Концепт «молчание», рассмотренный символистом Метерлинком как аналог концепта «смирение», развивается у М. Пришвина и приобретает разные смыслы: молчание как смиление, созерцание; молчание как напряжение и скрытая угроза; молчание как спасение. Это развитие концепта «молчание» в художественном мире М. Пришвина отражало этапы исторических изменений: начало XX в., революция, сталинский период. До революции М. Пришвин был наблюдателем-этнографом, модернистом, потом – тайно пишущим дневники молчаливым свидетелем революции. В советское время М. Пришвин реализовался как натуралист, детский писатель, автор лирико-философских миниатюр и поэм, но он молчал, не мог публиковаться как историк, философ, наблюдательный свидетель и летописец своего времени. Это внешнее молчание о главном максимально полно реализовалось в пришвинских дневниках, в которых он честно и страстно отразил окружающий мир и которые сегодня стали голосом ушедшей эпохи.

Список литературы

1. *Пришвин, М. М. Дневники. 1918–1919. Книга вторая / подгот. текста Л. А. Рязановой, Я. З. Гришиной ; comment. Я. З. Гришиной, В. Ю. Гришина.* – Москва : Московский рабочий, 1994. – 383 с.
2. *Розанов, В. В. Несовместимые контрасты жития / сост., вступ. статья В. В. Ерофеева ; comment. Олега Дарка.* – Москва : Искусство, 1990. – 605 с.
3. *Метерлинк, М. Сокровище смиренных. Мудрость и судьба : пер. с фр.* – Томск : Водолей, 1994. – 256 с.
4. *Холодова, З. Я. Художественное мышление М. М. Пришвина: содержание, структура, контекст.* – Иваново, 2000. – 295 с.
5. *Пришвин, М. М. Собр. соч. : в 6 т. Т. 6 : Повесть нашего времени. Осударева дорога. Из дневников последних лет.* – Москва : Художественная литература, 1957. – 768 с.
6. *Пришвин, М. М. Дневники. 1920–1922. Книга третья / подгот. текста Л. А. Рязановой ; comment. Я. З. Гришиной, В. Ю. Гришина.* – Москва : Московский рабочий, 1995. – 334 с.