

ISSN 1815-5987



НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ
(СИБСТРИН)

ТРУДЫ НГАСУ

Т. 21, № 3 (69)

2018

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

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

ТРУДЫ НГАСУ

Т. 21, № 3 (69)

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, № 3 (69). – 164 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

- Герасимов В.В., Светышев Н.В., Ненашев Я.Б.**
Повышение эффективности организации
строительных процессов на основе
квантового подхода.....5
- Ильина Л.В., Раков М.А., Ризаев Б.Ш.**
Неавтоклавный газобетон из сухой
сырьевой смеси 14
- Раззаков С.Ж., Ильина Л.В., Холмирзаев С.А.**
Температурные деформации бетона
в условиях сухого жаркого климата.....22

МАТЕМАТИКА. ФИЗИКА. МЕХАНИКА

- Бардаханова А.А., Виноградов А.Б.**
Исследование влияния
организационно-технологических факторов
на технологические процессы монолитного
домостроения г. Улан-Удэ31
- Валов А.О., Дегтярев В.В., Федорова Н.Н.**
Численное моделирование волны прорыва
в каналах с помощью ПК ANSYS47
- Гребенюк Г.И., Яньков Е.В., Целикова В.С.**
Разработка алгоритмов
нелинейного расчета высотных
мачтовых конструкций с растяжками57
- Гусельникова Е.Н., Гимгин П.А.** Гидравлические
процессы наполнения (опорожнения)
камеры шлюза при работе
в штатном режиме эксплуатации70

Караваяв А.А., Петрова Л.Г., Григорьев Д.О. Анализ точности определения отметок оголовков тумб с помощью электронных тахеометров и нивелира	81
Кияница Л.А., Лугин И.В. Обоснование рабочих параметров системы раздельной вентиляции станции закрытого типа метрополитена мелкого заложения с двухпутным тоннелем.....	90
Немировский Ю.В., Станиславович А.В. Некоторые задачи теплопроводности многослойных композитных пластин	106
Примак О.Д., Сколубович Ю.Л., Федорова Н.Н., Войтов Е.Л. Моделирование процесса очистки природных вод в реакторе-осветлителе	115

ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

Кулаков П.А. Патриотизм в социологическом измерении.....	130
Островский Л.К. Вклад поляков в развитие строительства и архитектуры Западной Сибири 1890–1917 гг.	141
Шерстяков А.А., Сидорина Т.В. Направления развития рынка жилья в Новосибирске	152

УДК 69.003.1

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ КВАНТОВОГО ПОДХОДА

В.В. Герасимов^{*}, Н.В. Светышев^{}, Я.Б. Ненашев^{***}**

Целью исследования является совершенствование методов повышения эффективности решений организации строительных процессов на основе квантирования объектов, процессов, ресурсов и мощностей, ориентированных на ввод объектов. Результат разработки – методический подход проектирования потока квантов на основе нормативов затрат и ресурсов базовой сетевой модели строительного процесса.

Ключевые слова: эффективность, строительство, процесс, квантирование.

Введение

Методологические основы квантового подхода, которым регламентируется совмещение работ и на этой основе повышается интенсивность работ, разработаны А.А. Гусаковым и др. [1–5]. Вместе с этим процесс формирования планов строительных работ затруднен из-за влияния различных факторов – изменяемой конфигурации организационно-технологической модели объектов в программе организации, сложности увязки объемов работ с мощностями строительных организаций, риска и др.

Понятие «квантирование» предполагает дискретизацию деления на кванты (порции) с представлением процесса в виде последовательного ряда ее отдельных значений в соответствии с определенным методом распределения. Под квантированием

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

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

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

в строительстве понимаются научно-технические методы, обеспечивающие возможность формировать кванты в виде комплексов, включающих объекты, ресурсы, мощности, финансы, инфраструктуру.

Актуальность темы определяет недостаточно разработанная методическая основа проектирования строительных систем, сложность иерархии, множество целей, неопределенность результатов деятельности.

Целью работы является исследование эффективности квантовых строительных процессов, в рамках которых осуществляется динамический процесс трансформации существующей типовой организационной модели строительных процессов в модели квантов как пусковых модулей системы строительного производства.

Полезность темы обусловлена возможностью разработки нормативно-методической базы эффективных организационных решений в строительстве на основе квантового подхода.

Постановка задачи. Исследование комплекса квантовых моделей включало задачи моделирования системы квантового пространства строительных объектов, моделирования квантовых потоковых динамических систем, моделирования информационного программирования планов и программ строительства объектов. В качестве инструментов исследования принят комплекс методов информационного программирования, включающий гипертекстовое моделирование, системотехнический анализ, многопараметрический анализ. В работе приняты следующие понятия методов: информационное программирование – направление по программированию информации о состоянии объекта; гипертекстовое моделирование – моделирование объекта с помощью текстовых символов и логических связей; системотехнический анализ – анализ системы в области технических и технологических процессов и структур; многопараметрический анализ – анализ множества параметров с приведением их оценки к единому индикатору [4].

Исследование квантового модулирования организационных решений строительных объектов проведено в соответствии с ме-

тодологией, предусматривающей три этапа разработок: формирование квантового пространства объектов, разработка квантовой динамической системы и информационное программирование планов и программ строительной организации.

Система квантового пространства строительства объектов представляет собой распределенные модули организационно-технологических решений, классифицированные по форматам: комплекс объектов, объект, специализированный вид работ, работа, операция. Структурная схема и операции над множеством параметров имеют вид [2]:

- типовой модуль кванта –
$$Kvi = (OB(V \times M \times 3 \times P \times I \times T)); \quad (1)$$

- структура квантов –
$$Kko = (Ko(Kcp(Kp(Kon)))); \quad (2)$$

- пространство квантов –
$$Pkv = (UKvin, t); \quad (3)$$

- квантовый план –
$$KPl = \{OB(V \times M \times 3 \times P \times I \times T), \dots, OB(V \times M \times 3 \times P \times I \times T)\}t; \quad (4)$$

- баланс квантов –
$$Kvi = (OB/V/M)i; \quad (5)$$

- оптимизация кванта –
$$Зкпс > \min \text{ при } < M, P, I, T >; \quad (6)$$

- эффективность кванта –
$$Экпс = (Зкв + Э1 + Э2 + Э3) / Зкпс > 1, \quad (7)$$

где Kvi – i -й квант; OB – объект; $V, M, 3, P, I, T$ – объем выпуска, мощность, затраты, ресурсы, инвестиции, время соответственно; Kko, Ko, Kcp, Kp, Kon – квант комплекса объектов, квант объекта, квант специализированной работы, квант работы, квант операции соответственно; Pkv – пространство квантов строительных объектов; t – период времени кванта; KPl – квантовый план; $Зкв$ – затраты кванта; $Зкпс$ – затраты квантового пространства; $Экпс$ – эффективность квантового пространства; $Э1, Э2, Э3$ – эффект кванта организационный, технологический, технический соответственно.

Уравнениями отражается состояние объекта в следующих проекциях: (1)–(3) – организация пространства квантов в объекте; (4) – планирование квантовых образований; (5), (6) – преобразования с квантами в направлении сбалансированности объектов и ресурсов, оптимизации параметров пространства; (7) – эффективности решений.

Квантовая потоковая система строительства объектов представляет собой поток, распределенный на организационно-технологические модули-кванты, которые формируют варианты специализаций квантов, наилучшим образом используя ресурсы на основе применения различных методов организации в программе деятельности организации.

Структурная схема и операции над потоками имеют вид:

- типовой квантовый поток –

$$KПm = \{(UKв \times UMск)t, \dots, (UKв \times UMск)t + 1, \dots\}; \quad (8)$$

- баланс потока –

$$KПm = (UОБ/UV/UM)t > 1; \quad (9)$$

- оптимизация потока –

$$Зкпт > \min, < M, P, I, T >; \quad (10)$$

- эффективность квантового потока –

$$Экпт = (Зкпт + Э1 + Э2 + Э3) / Зкпт > 1, \quad (11)$$

где $KПm$ – квантовый поток; $UKв$ – множество квантов; $UMск$ – множество мощностей строительного комплекса; $Зкпт$ – затраты квантового потока; $Экпт$ – эффективность квантового потока; $Зкпт$ – затраты квантового потока.

Уравнениями отражается состояние объекта в следующих проекциях: (8) – квантовый поток; (9), (10) – преобразования с квантами в направлении сбалансированности объектов и ресурсов, оптимизации параметров пространства; (11) – эффективности решений.

Информационное программирование квантовых планов и программ строительного производства объектов представляет собой распределенные модули организационно-технологических решений, классифицированные по форме: мегаплан «комплекс объектов–объект»; мультиплан «объект–специализиро-

ванный вид работ»; моноплан «специализированный вид работ– работа»; миниплан «работа– операция». Каждый из классификаторов планов ориентирован на исполнителей: комплексную строительную организацию; специализированную организацию; специализированное подразделение; специализированную строительную бригаду соответственно [3].

Структурная схема и операции над множеством планов имеют следующие характеристики.

Квантовый мегаплан представляет собой распределитель объемов комплексного объекта по объектам. План организован в форматах структуры мультипланов, включающих организационно-технологическую карту с шестью квадрантами: схемами организации работ, технологическими схемами производства работ, планами организации производства, планами технологии работ, ресурсами, организационной структурой управления.

Структурная схема и операции над планами имеют вид:

– баланс мегаплана на основе распределения мультипланов во времени и ресурсах

$$MГn = (UMЛn)t; \quad (12)$$

– оптимизация параметров мегаплана

$$З(MГn) > \min, < M,P,I,T > MГn; \quad (13)$$

– эффективность мегаплана

$$Эmгn = (З(MГn)+Э1+Э2+Э3)/ З(MГn) >1, \quad (14)$$

где $MГn$ – мегаплан; $MЛn$ – мультиплан; $З(MГn)$ – затраты мегаплана; $Эmгn$ – эффективность мегаплана.

Квантовый мультиплан представляет собой распределитель объемов объекта по специализированному комплексу работ. План организован в форматах структуры монопланов, включающих организационно-технологическую карту с шестью квадрантами: схемами организации работ, технологическими схемами производства работ, планами организации производства, планами технологии работ, ресурсами, организационной структурой управления.

Структурная схема и операции над планами имеют вид:

– баланс мультиплана на основе распределения монопланов во времени и ресурсах

$$MЛn = (UMHn)t; \quad (15)$$

– оптимизация параметров моноплана

$$З(MЛn) > \min, < M, P, Д, T > MЛn; \quad (16)$$

– эффективность моноплана

$$Эмлн = (З(MЛn) + Э1 + Э2 + Э3) / З(MЛn) > 1, \quad (17)$$

где $З(MЛn)$ – затраты мультиплана.

Квантовый моноплан представляет собой распределитель специализированного комплекса работ по работам. План организован в форматах структуры минипланов, включающих организационно-технологическую карту с шестью квадрантами: схемами организации работ, технологическими схемами производства работ, планами организации производства, планами технологии работ, ресурсами, организационной структурой управления.

Структурная схема и операции над планами имеют вид:

– баланс моноплана на основе распределения минипланов во времени и ресурсах

$$MНn = (UMИn)t; \quad (18)$$

– оптимизация параметров моноплана

$$З(MНn) > \min, < M, P, Д, T > MНn; \quad (19)$$

– эффективность моноплана

$$Эмнп = (З(MНn) + Э1 + Э2 + Э3) / З(MНn) > 1, \quad (20)$$

где $З(MНn)$ – затраты моноплана.

Квантовый миниплан представляет собой распределитель работ по операциям. План организован в форматах структуры специализированных модулей минипланов, включающих организационно-технологическую карту с шестью квадрантами с модулями: схемами организации работ, технологическими схемами производства работ, планами организации производства, планами технологии работ, ресурсами, организационной структурой управления.

Структурная схема и операции над планами имеют вид:

– баланс миниплана на основе распределения минипланов во времени и ресурсах

$$MIn = (UMD_{mun})t; \quad (21)$$

– оптимизация параметров миниплана

$$Z(MIn) > \min, < M, P, D, T > MIn; \quad (22)$$

– эффективность миниплана

$$Э_{mun} = (Z(MIn) + Э1 + Э2 + Э3) / Z(MIn) > 1, \quad (23)$$

где $Z(MIn)$ – затраты миниплана.

Уравнениями отражается состояние объекта в следующих проекциях: (12)–(14) – организация программирования мегапланов объектов; (15)–(17) – организация программирования мультипланов объектов; (18)–(20) – организация программирования монопланов объектов; (21)–(23) – организация программирования минипланов объектов.

Анализ модельного комплекса позволил установить следующее:

1. Квантовый подход является развитием теоретических основ системотехники в строительстве в части организации инженерных решений, ориентированных на результат.

2. Квантовый подход позволяет сформировать ресурсы, ориентированные на результат, что позволяет повысить эффективность использования ресурсов и мощностей строительной организации.

3. Квантовое пространство создает информационную базу данных, необходимую для формирования потока объектов, ресурсов и мощностей производства для последующего планирования деятельности строительной организации.

4. Квантовые потоки формируют динамику целевых квантов, которые должны быть ориентированы на корректировку параметров квантов в зависимости от факторов внешней среды.

5. Квантовые планы позволяют сбалансировать квантовые модули планов с мощностями строительных организаций в направлении эффективного использования возможностей.

6. Модельный комплекс может быть использован для проектирования информационных систем управления проектно-строительным процессом строительства объектов.

7. Эффективность квантовой организации позволяет повысить интенсивность использования ресурсов и мощностей, используемых для строительной деятельности.

Результаты исследований

Проведенные экспериментальные исследования позволили установить, что затраты и продолжительность строительных работ существенно зависят от интенсивности выполняемых работ, а их уровень организованности – от концентрации использования ресурсов, ориентированных на результат – ввод объекта. Проведенными расчетами установлено, что использование квантового подхода в сравнении с существующим методом ориентации на результат позволяет снизить затраты на 3–5 %, продолжительность работ – на 3–7 %. Эффект определяется сокращением запасов ресурсов, повышением производительности труда и возможностью автоматизации процесса планирования и управления планами строительства.

Согласование с известными данными

Результаты исследований эффективности квантирования организационных решений строительных объектов являются развитием существующих основ теории системотехники сложных систем [3] и дополнены развитием знаний в области методических основ динамики потоковых процессов организационных решений.

Заключение

Организационно-технологические модели строительных процессов в существующей практике не предполагают адресного прикрепления результата – объекта к комплексу ресурсов, что создает нечеткое их распределение при планировании работ строительных организаций и, как следствие, неэффективное использование ресурсов. Существующие на практике методические подходы проектирования и планирования с вводом по

«объекту» могут быть преобразованы в методологию квантового подхода, ориентированного на результат.

Эффективность использования квантового подхода в проектировании и планировании строительства объектов определяется эффектами: в организации – за счет концентрации ресурсов по квантам, технологии – за счет концентрации операционных процессов и механизации – за счет концентрации использования средств механизации.

Список литературы

1. *Гусаков, А. А., Гинзбург, А. В., Веремеенко, С. А. [и др.]*. Организационно-технологическая надежность строительства. – Москва : SvR–Аргус, 1994. – 472 с.
2. *Герасимов, В. В., Коробова, О. А., Левченко, А. В., Сафарян, Г. Б.* Организационная надежность производственно-логистических проектов строительных объектов // Экономика и организационно-управленческие проблемы развития строительного комплекса России : материалы Всероссийской конференции. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2014. – С. 34–39.
3. *Романова, А. И.* Методология комплексного подхода к решению проблемы устойчивого экономического развития инвестиционно-строительного комплекса // Известия КГАСУ. – 2005. – № 1 (3). – С. 105–107.
4. *Глазунов, Л. П., Грабовецкий, В. П., Щербаков, О. В.* Основы теории надежности автоматических систем управления : учеб. пособие для вузов. – Ленинград : Энергоатомиздат, 1984. – 208 с.
5. *Гусаков, А. А.* Системотехника строительства. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Стройиздат, 1993. – 368 с.

НЕАВТОКЛАВНЫЙ ГАЗОБЕТОН ИЗ СУХОЙ СЫРЬЕВОЙ СМЕСИ

Л.В. Ильина^{*}, М.А. Раков^{}, Б.Ш. Ризаев^{***}**

Исследовалось влияние совместного помола портландцементного клинкера, кремнеземистого компонента и минеральной добавки до удельной поверхности 280–300 м²/кг на свойства (прочность, среднюю плотность и теплопроводность) неавтоклавного газобетона, а также пористость цементного камня, полученного на основе портландцементного клинкера с введением минеральных добавок.

Ключевые слова: неавтоклавный газобетон, сухая сырьевая смесь, помол, прочность, средняя плотность, теплопроводность.

Введение

Одной из основных задач современного строительства является повышение качества, надежности и долговечности конструкций и сооружений при меньшей их материалоемкости и сокращении финансирования. В этой связи актуальным видится применение ячеистых бетонов. Ячеистый бетон является одним из эффективных материалов для ограждающих конструкций и применяется в виде панелей, мелких стеновых блоков, а также в монолитном строительстве. Ячеистые бетоны неавтоклавного твердения обладают низким коэффициентом теплопроводности и изготавливаются из доступного исходного сырья. Однако, несмотря на все достоинства, ячеистый бетон относится к энергоемким строительным материалам. При этом наиболее дорогостоящей составляющей ячеистого бетона является цемент, а наиболее энергоемкими операциями в технологии производства – автоклавная обработка изделий из ячеистого бетона

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

^{**} Ст. преподаватель кафедры строительных материалов, стандартизации и сертификации НГАСУ (Сибстрин)

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

и помол кремнеземистого компонента. Для гарантированного обеспечения получения газобетона с величиной средней плотности $400\text{--}500\text{ кг/м}^3$ необходимо использование кремнеземистого компонента с удельной поверхностью $250\text{--}300\text{ м}^2/\text{кг}$ [1, 2].

Установлено, что на помол кремнеземистого компонента расходуется электроэнергия до $25\text{ кВт}\cdot\text{ч/т}$ или, в перерасчете на 1 м^3 ячеистого бетона с учетом расхода песка $0,18\text{--}0,28\text{ т}$, – $4,5\text{--}7\text{ кВт}\cdot\text{ч}$ [3]. Вместе с тем анализ литературы показал, что вопрос совместного помола клинкера и кремнеземистого компонента изучен мало.

Для повышения прочности цементного камня и материалов на основе портландцемента широко используется введение минеральных добавок, например микрокремнезема, золы-уноса, диоксида и т.д. [4–10]. Применение таких добавок позволяет в значительной мере реализовать потенциальные возможности портландцемента. Во многих случаях введение добавок обеспечивает сокращение расхода дорогостоящих вяжущих веществ [11].

Эффективность действия минеральных добавок (диоксида, волластонита) обусловлена близостью по составу, типу химических связей, физико-химическим характеристикам (удельной энтальпии образования, удельной энтропии) к безводным исходным вяжущим и продуктам их гидратации [12].

Сырьевые материалы

В качестве вяжущего исследован портландцементный клинкер производства ОАО «Искитимцемент» (Новосибирская область), являющийся полуфабрикатом при производстве портландцемента марки ПЦ 400 Д-20. Его минералогический состав, мас. %: $\text{C}_3\text{S} - 60\text{--}62$, $\text{C}_2\text{S} - 15\text{--}17$, $\text{C}_3\text{A} - 5\text{--}7$, $\text{C}_4\text{AF} - 14$. Клинкер хранился в виде гранул размером $5\text{--}20\text{ мм}$ при температуре $20 \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ и влажности не более 60% в течение 7 сут.

В качестве кремнеземистого компонента использовался песок кварцевый ОАО «Камнереченский каменный карьер» (Новосибирская область). Минеральный состав песка, мас. %: кварц $80\text{--}90$, полевой шпат $10\text{--}20$. Истинная плотность зерен песка 2650 кг/м^3 . Насыпная плотность песка составляла 1420 кг/м^3 .

Потеря массы при прокаливании 0,45 %, содержание глинистых и илистых примесей 0,5 %, глина в комках отсутствовала.

В качестве карбонатного компонента применялась известь комовая ОАО «Искитимизвесть» (Новосибирская область). Содержание активных CaO+MgO не менее 80 мас. %, а непогасившихся зерен – не более 14.

В данной работе в качестве минеральных добавок использовались горные породы волластонит (Синюхинское месторождение, рудник «Веселый», Республика Алтай) и диопсид (Буготакское месторождение, Новосибирская область), являющиеся отходами производства. Их химический состав приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав минеральных добавок

Добавка	Содержание оксидов, мас. %								
	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	п.п.п.
Волластонит	53,4	34,7	0,3	3,1	2,4	–	–	–	6,1
Диопсид	56,1	25,4	15,8	1,0	0,7	0,1	0,1	0,1	0,6

Экспериментальная часть

В данной работе исследовалось влияние совместного помола в шаровой мельнице портландцементного клинкера, кремнеземистого компонента и минеральной добавки до удельной поверхности 280–300 м²/кг на свойства (прочность, среднюю плотность и теплопроводность) неавтоклавного газобетона, а также пористость цементного камня, полученного на основе портландцементного клинкера с введением минеральных добавок.

В работе определены прочность, средняя плотность и теплопроводность газобетона, полученного с использованием портландцемента, молотого портландцементного клинкера, а также измельченного портландцементного клинкера совместно с кремнеземистым компонентом и минеральными добавками.

Образцы твердели в условиях тепловлажностной обработки, проводимой по режиму: 3 ч – подъем температуры до 85 °С;

8 ч – изотермическая выдержка при данной температуре и 3 ч – снижение температуры до 20 °С.

Прочность при сжатии, средняя плотность и теплопроводность определялись на образцах-кубах с ребром 100 мм, изготовленных из газобетонной смеси, состоящей из (мас. %) портландцементного клинкера (27,0–28,5), песка кварцевого (31,5), карбонатного компонента (4,0–5,0), воды (31,0–32,0), двуводно-го гипсового камня (2,27), газообразующего компонента (0,07–0,09).

Для определения предела прочности образцов при сжатии использовался пресс с предельной нагрузкой до 500 кН, обеспечивающий нагружение образца в режиме чистого сжатия. Средняя скорость нарастания нагрузки при испытании составляла $(2,0 \pm 0,5)$ МПа/с. Для компенсации пространственного отклонения от непараллельности опорных граней образца, пресс имел подвижную шаровую опору и был снабжен приспособлением для центрированной установки нажимных пластинок, передающих нагрузку на образец.

Исследование пористости цементного камня, полученного на основе портландцементного клинкера с введением минеральных добавок, проведено на автоматическом ртутном поромере AutoPore IV 9520 фирмы Micromeritics (США), управляемом персональным компьютером. Измерения выполнены в Институте катализа им. Г.К. Борескова СО РАН. Погрешность измерений не превышала ± 2 %. Методика измерений соответствовала международным стандартам ASTM D4284-03 и ASTM D4404-84 (2004). Давление ртути изменялось от 0,03 до 414 МПа, что позволило измерить размеры пор до диаметра 1,8 нм.

Измерения теплопроводности проводились на образцах $100 \times 100 \times 20$ мм по методике ГОСТ 7076-99 на электронном измерителе теплопроводности ИТП-МГ-4 в аккредитованной лаборатории. Диапазон определения коэффициента теплопроводности при стационарном режиме от 0,02 до 1,5 Вт/(м·°С). Диапазон температуры образцов от 15 до 42,5 °С. Предел основной относительной погрешности определения коэффициента теплопроводности составляет ± 5 %.

Зависимость свойств неавтоклавного газобетона от вида вяжущего приведена в табл. 2.

При использовании измельченного клинкера прочность газобетона повышается на 30 % по сравнению с применением портландцемента. Еще более высокие показатели достигаются при измельчении клинкера совместно с 50 % кремнеземистого компонента. При этом плотность газобетона остается практически неизменной, а прочность при сжатии увеличивается на 65 %.

Таблица 2
Зависимость свойств газобетона от вида вяжущего

Вид вяжущего	Средняя плотность, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа
Портландцемент	630	1,7
Портландцементный клинкер, молотый отдельно от кремнеземистого компонента	628	2,1
Портландцементный клинкер, молотый совместно с 50 % кремнеземистого компонента	610	2,8

Добавку волластонита вводили в количестве 7 мас. %, диоксида – 5 мас. % цемента. Такое их содержание, как показали предыдущие эксперименты, приводило к максимальному повышению прочности цементного камня, изготовленного из молотого портландцементного клинкера [13, 14].

В дальнейшем использовался совместный помол портландцементного клинкера с кремнеземистым компонентом и минеральной добавкой и дальнейшим перемешиванием смеси с молотым отдельно карбонатным компонентом.

Зависимость прочности, средней плотности и теплопроводности газобетона, содержащего добавки, изготовленного из портландцементного клинкера, измельченного совместно с кремнеземистым компонентом, приведена в табл. 3.

Таблица 3

Зависимость прочности, средней плотности и теплопроводности газобетона от вида добавок

Вид и количество добавок, мас. %, от портландцементного клинкера	Средняя плотность газобетона, кг/см ³	Прочность при сжатии газобетона, МПа	Теплопроводность, Вт/(м·°С)
Без добавок	610	2,8	0,138
Волластонит – 7	600	3,1	0,135
Диопсид – 5	580	3,3	0,131

Введение в газобетонную смесь 7 % волластонита или 5 % диопсида приводит к незначительному снижению плотности газобетона. При этом прочность при сжатии увеличивается на 11 % при введении волластонита и на 18 % при введении диопсида. Теплопроводность варьируется от 0,138 Вт/(м·°С) в случае газобетона без добавок, до 0,131 Вт/(м·°С) при введении 5 % диопсида.

Результаты исследования пористости цементного камня, полученного на основе портландцементного клинкера с введением минеральных добавок, приведены в табл. 4.

Таблица 4

Характеристики пористости цементного камня по результатам ртутной порометрии

Характеристики	Состав вяжущего вещества	
	Портландцементный клинкер	Портландцементный клинкер и 7 мас. % диопсид
Общий объем пор, мл/г	0,2730	0,3880
Общая площадь пор, м ² /г	26,886	27,707
Медиана диаметра пор (по площади), мкм	0,0052	0,0077
Средний диаметр пор, мкм	0,0406	0,0484
Характеристическая длина пор, мкм	1,680	7,672
Извилистость пор, отн. ед.	183,27	28,279

Следует отметить, что при введении 7 мас. % диоксида характеристическая длина пор заметно возрастает по сравнению с портландцементным клинкером без добавок. В то же время существенно снижается извилистость пор. Это может обеспечить более благоприятные условия для перемещения части воды в соседние воздушные включения. При ее замерзании давление внутри бетона не увеличивается. Наличие большого количества пор (капилляров) малого диаметра (менее 1 мкм) будет способствовать повышению морозостойкости бетона, так как вода в них в основном будет находиться в пленочном состоянии.

Заключение

Таким образом, совместный помол портландцементного клинкера с кремнеземистым компонентом и минеральными добавками приводит к снижению энергоемкости производства неавтоклавного газобетона, а минеральная добавка, располагаясь в межпоровых перегородках ячеистого бетона, является микроарматурой и обладает весьма развитой поверхностью, выполняет функцию барьера на пути распространения трещин и сообщающихся пор. Введение минеральных добавок позволило получить неавтоклавный газобетон со средней плотностью 580 кг/м³, прочностью на сжатие 3,3 МПа и теплопроводностью 0,131 Вт/м·°С.

Список литературы

1. *Фомичева, Г. Н., Завадский, В. Ф., Котельникова, О. В.* Технологические параметры получения неавтоклавного альби-тофирового газобетона // Известия вузов. Строительство. – 2004. – № 12. – С. 26–30.
2. *Кудяков, А. И., Некрасов, А. В., Чубаков, Н. Г., Исаков, Г. Н.* Газобетон на песке естественной гранулометрии для строительства монолитных малоэтажных домов // Известия вузов. Строительство. – 1996. – № 1. – С. 46–48.
3. *Завадский, В. Ф.* Оптимизация параметров получения газобетона на новых видах дисперсных наполнителей // Известия вузов. Строительство. – 2005. – № 4. – С. 58–63.

4. *Горчаков, Г. И., Баженов, Ю. М.* Строительные материалы. – Москва : Стройиздат, 1986. – 688 с.
5. *Добавки в бетон : справочное пособие : пер. с англ. / под ред. В. С. Рамачадрана.* – Москва : Стройиздат, 1988. – 575 с.
6. *Хозин, В. Г., Хохряков, О. В., Битцер, А. В., Урханова, Л. А.* Эффективность применения золы-уноса Гусиноозерской ГРЭС в составе цементов низкой водопотребности // *Строительные материалы.* – 2011. – № 7. – С. 76–77.
7. *Лесовик, В. С., Потапов, В. В., Алфимова, Н. И., Ивашова, О. В.* Повышение эффективности вяжущих за счет использования наномодификаторов // *Строительные материалы.* – 2011. – № 12. – С. 60–62.
8. *Ocheretny, V., Kowalski, V., Mashnitskiy, N., Bondar, A.* The dependence of the thermal and mechanical properties of cellular concrete production parameters // *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві.* – 2009. – № 2 (7). – С. 34–39.
9. *Rudchenko, D. G.* Saving material and energy flows in production of cellular concrete autoclaved // *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві.* – 2011. – № 2 (11). – С. 29–35.
10. *Serduk, V., Avgustovich, B.* Flu ash takeaways how important raw resources to produce cellular concrete // *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві.* – 2013. – № 2 (15). – С. 22–28.
11. *Волженский, А. В.* Минеральные вяжущие вещества. – Москва : Стройиздат, 1986. – С. 197.
12. *Кузнецова, Т. В., Кудряшов, И. В., Тимашев, В. В.* Физическая химия вяжущих материалов. – Москва : Высшая школа, 1989. – 384 с.
13. *Бердов, Г. И., Ильина, Л. В.* Влияние количества и дисперсности минеральных добавок на свойства цементных материалов // *Известия вузов. Строительство.* – 2010. – № 11–12. – С. 11–16.
14. *Ильина, Л. В.* Повышение прочностных характеристик цементных композитов на основе цемента длительного хранения // *Фундаментальные исследования.* – 2011. – № 12. – С. 112–116.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ БЕТОНА В УСЛОВИЯХ СУХОГО ЖАРКОГО КЛИМАТА

С.Ж. Раззаков^{*}, Л.В. Ильина^{**}, С.А. Холмирзаев^{***}

Рассмотрены вопросы влияния сухого жаркого климата на деформационные свойства бетона. Приведены результаты экспериментальных исследований по определению температурных деформаций бетона при высокой температуре и низкой влажности.

Ключевые слова: деформация бетона, климатические условия, усадка, коэффициент температурного расширения.

Введение

Изучение работы железобетонных конструкций зданий и сооружений, эксплуатирующихся в условиях сухого жаркого климата, является актуальной проблемой, имеющей важное народнохозяйственное значение [1–3]. В последнее время учеными Узбекистана, России и других стран Содружества Независимых Государств выполнен ряд исследований в области технологии изготовления и расчета железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в условиях сухого жаркого климата. Повышенная температура и низкая относительная влажность окружающей среды приводят к возникновению значительных температурно-усадочных деформаций и напряжений [1–6]. Следовательно, конструкции, не защищенные от солнечной радиации, имеют повышенное трещинообразование температурно-усадочного характера [2–4, 7]. Поэтому изучение влияния сухого жаркого климата на трещиностойкость имеет большое значение.

^{*} Д-р техн. наук, доцент Наманганского инженерно-строительного института, Республика Узбекистан

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

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

Постановка задачи

В условиях сухого жаркого климата происходят суточные и сезонные колебания температуры и влажности наружного воздуха [8]. При нагревании температурные деформации состоят из двух видов деформаций: обратимой деформации (температурное расширение бетона) и необратимой деформации (температурная усадка бетона). Температурная деформация расширения бетона в основном зависит от вида заполнителя и влажности бетона. При повышении температуры цементный камень расширяется значительно меньше, чем заполнитель. Это расширение исчезает при удалении адсорбционной связанной воды из геля и развитии температурной деформации усадки.

При эффективной влажности бетона, примерно равной 2–3 %, гель имеет максимальную степень увлажнения и свободная вода отсутствует [1, 9].

При нагреве с влажностью менее эффективной, температурная усадка бетона происходит даже при кратковременном подъеме температуры.

Температурная усадка бетона на портландцементе в основном обусловлена усадкой цементного камня. При нагреве бетона одновременно проявляются деформации температурного расширения и усадки.

Температурная деформация бетона ε_{bt} будет меньше температурного расширения ε_t на величину температурной усадки ε_{cs} :

$$\varepsilon_{bt} = \varepsilon_t - \varepsilon_{cs} = (\alpha_t - \alpha_{cs}) \cdot t = \alpha_{bt} \cdot t. \quad (1)$$

При нагреве бетона с влажностью выше эффективной или сухого бетона, температурные деформации ε_{bt} будут равны деформациям температурного расширения бетона $\varepsilon_{bt} = \varepsilon_t$, так как температурная усадка во влажном бетоне еще не проявилась, а в сухом уже прошла. Значения температурных деформаций ε_{bt} во влажном бетоне будут больше, чем в сухом. Если же при охлаждении бетон будет подвергнут увлажнению, то при последующем нагреве опять проявится температурная усадка.

Коэффициент линейной температурной деформации бетона α_{bt} естественной влажности при первом нагреве зависит от вида заполнителя. Если в бетоне заполнителем выступает гранит, то

коэффициент линейной температурной деформации бетона естественной влажности при первом нагреве будет составлять $11 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$; если заполнителем является известняк, то это значение будет равным $10 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$; если заполнитель керамзит, то α_{bt} будет составлять $9 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$ [6].

Основными климатическими факторами, влияющими на изменение температуры конструкций, являются температура наружного воздуха и солнечная радиация. В их изменениях можно выделить два периодических колебания с годовым (зима – лето) и суточным (день – ночь) периодами.

Результаты экспериментов

Под влиянием колебания температуры воздуха и интенсивности солнечной радиации температурное поле конструкций изменяется во времени и является нестационарным [4–6]. С повышением температуры воздуха линейно возрастает температура на поверхности элемента, обращенной в солнечную сторону. В течение суток наиболее неблагоприятным временем для работы железобетонных элементов в условиях сухого жаркого климата, с точки зрения влияния температурно-влажностных условий среды, является период с 14 до 24 часов. Максимально зафиксированная температура, определенная на поверхности элемента в июле в 14 часов дня, была 43–45 °С, что превышало температуру воздуха на 8–9 °С.

Наибольшая температура керамзитобетона в железобетонном элементе наблюдалась в летний период, в течение суток в период от 15 до 18 часов, а наименьшая температура – с 22 до 6 часов. Наблюдения за кинетикой изменения температуры керамзитобетона в железобетонном элементе показали, что при температуре внешней среды 40 °С температура керамзитобетона под воздействием солнечной радиации доходила до 45 °С при минимальной влажности воздуха 20 %.

Для сжатых железобетонных элементов естественного твердения в условиях сухого жаркого климата температура на поверхностях керамзитобетона, подверженных воздействию солнечной радиации, зимой опускалась до –4 °С. Температура на поверхностях, подверженных воздействию прямой солнечной

радиации, превышала температуру воздуха на 10–12 °С, в то время как температура керамзитобетона теневой стороны превышала температуру воздуха не более чем на 6 °С.

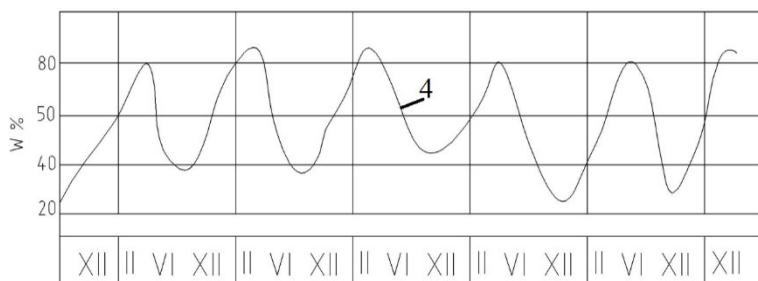
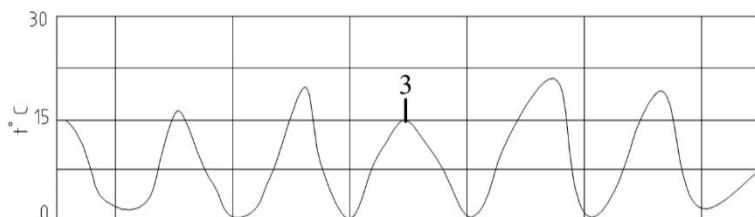
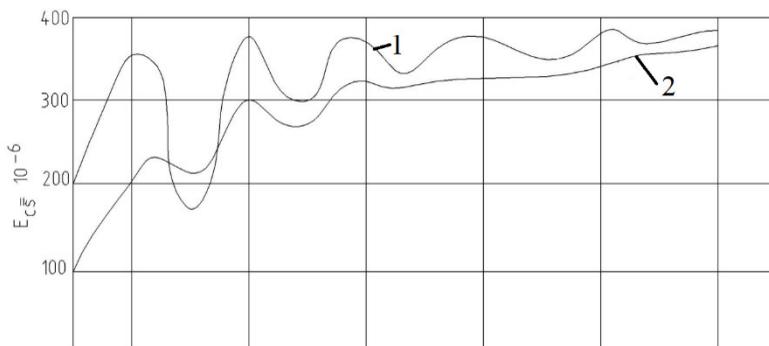
В практических расчетах конструкций температурное поле рассматривается в период наиболее неблагоприятного воздействия климатических температур.

В целях определения численных значений температурных деформаций для расчета железобетонных конструкций были проведены экспериментальные исследования, которые показали, что в первые три месяца температурные деформации бетона развиваются незначительно ввиду сравнительно высокой начальной влажности бетона. С наступлением весенне-летнего периода наблюдается сначала увеличение температурных деформаций ε_{et} бетона, а затем уменьшение из-за развития деформаций усадки. В осенне-зимний период происходит некоторое увеличение деформаций за счет его набухания из-за повышения влажности воздуха в связи с выпадением осадков.

Максимальные значения деформации температурного расширения тяжелого бетона, находящегося под влиянием сухого жаркого климата, достигали в летний период $20 \cdot 10^{-5}$, а минимальные значения в зимний период $5 \cdot 10^{-5}$. Кроме того, на величину температурных деформаций оказывают влияние условия хранения бетона. Так, для образцов из тяжелого бетона, хранившихся в условиях воздействия солнечной радиации в летний период, деформации усадки на 20 % больше, чем в образцах, находившихся в нормальных условиях.

На рисунке представлены деформации влажностной усадки бетона в условиях сухого жаркого климата.

Наиболее чувствительной характеристикой к влиянию сухого жаркого климата является усадка бетона. Усадка бетона опытных образцов зависела от температуры и влажности окружающей среды.



Деформации влажностной усадки бетона в условиях сухого жаркого климата [3]: 1 – призмы сечением 70×70 мм; 2 – призмы сечением 200×200 мм; 3 – температура, $^{\circ}C$; 4 – влажность наружного воздуха

Максимальные величины деформаций усадки ε_{cs} бетона наблюдаются в летний период. Наблюдается увеличение усадочных деформаций от 8 до 15 % во второй летний сезон по сравнению с первым для бетона в условиях сухого жаркого климата. Полученные данные показали, что интенсивный рост деформаций усадки происходит в течение 55–60 сут, после чего эти деформации стабилизируются.

Деформации усадки (табл. 1) аналогичных образцов, хранившихся в нормальных условиях, проявлялись замедленно в течение 400 сут, но по абсолютной величине максимальные деформации усадки оказались в 1,7 раза меньше, чем у образцов, хранившихся в условиях воздействия солнечной радиации [4–6].

Таблица 1
Развитие усадочных деформаций во времени $\varepsilon_{cs} \cdot 10^6$

№ п/п	Условия хранения	Длительность наблюдений, сут								
		7	14	28	60	90	120	180	360	720
1	В нормальных условиях	119	157	254	362	417	443	481	519	543
2	При постоянном режиме	146	232	315	451	528	546	573	614	657
3	На открытой площадке, защищенной от воздействия солнечной радиации	214	386	574	629	695	727	781	821	872
4	В условиях воздействия солнечной радиации	267	432	616	734	763	798	836	855	920

В проводимых исследованиях максимальный перепад температуры по сечению элемента составлял 14 °С. По экспериментальным данным деформация температурного расширения $\varepsilon_{tt} = 20 \cdot 10^{-5}$. Анализируя данные, представленные в табл. 1, можно сделать вывод, что предельная деформация усадки тяжелого бе-

тона по экспериментальным данным составляет $\varepsilon_{cs} = 92 \cdot 10^{-5}$. Следовательно, можно определить коэффициент температурной усадки:

$$\alpha_{cs} = \varepsilon_{cs}/t = 92 \cdot 10^{-5}/45 = 2,06 \cdot 10^{-5}, \quad (2)$$

где t – максимальная температура на поверхности бетона, °С.

Значение температурной деформации по результатам экспериментов составляло $\varepsilon_{bt} = 63 \cdot 10^{-5}$. При этом коэффициент температурной деформации бетона $\alpha_{bt} = \varepsilon_{bt} \cdot 10^{-5}/t = 63 \cdot 10^{-5}/45 = 1,4$.

Таким образом, можно определить коэффициент температурного расширения бетона:

$$\alpha_{tt} = \Delta t / \varepsilon_{tt} = 14/20 = 0,7,$$

где Δt – максимальный перепад температуры по сечению бетона.

Для практических расчетов железобетонных элементов из тяжелого бетона в условиях сухого жаркого климата усадочные деформации бетона рекомендуется принимать $\varepsilon_{cs} = 92 \cdot 10^{-5}$.

Значения коэффициентов температурной деформации α_{bt} , температурной усадки α_{cs} и температурного расширения α_{tt} рекомендуется принимать по табл. 2.

Таблица 2

Коэффициенты температурного расширения $\alpha_{tt} \cdot 10^{-5}$ град⁻¹, температурной деформации $\alpha_{bt} \cdot 10^{-5}$ и температурной усадки $\alpha_{cs} \cdot 10^{-5}$ бетона в условиях сухого жаркого климата при хранении в условиях воздействия солнечной радиации

Условия хранения	При 50 °С		В условиях сухого жаркого климата							
			Первый летний сезон				Второй летний сезон			
	α_{tt}	ε_{tt}	α_{bt}	ε_{bt}	α_{cs}	ε_{cs}	α_{bt}	ε_{bt}	α_{cs}	ε_{cs}
В условиях солнечной радиации	0,70	20	1,35	58	1,8	85	1,4	63	2,1	92

Заключение

В условиях сухого жаркого климата железобетонные элементы нагреваются неравномерно. Под влиянием колебания температуры воздуха и интенсивности солнечной радиации температурное поле конструкций непрерывно изменяется во времени и является нестационарным.

Наиболее чувствительной характеристикой к влиянию сухого жаркого климата является усадка бетона, которая зависит от температуры, влажности окружающей среды и условий хранения. Температурное расширение тяжелого бетона, находящегося под влиянием сухого жаркого климата, зависит от годового (лето–зима) колебания температур и условий хранения.

Ширина раскрытия трещин внецентренно-сжатых железобетонных элементов, эксплуатируемых в условиях сухого жаркого климата, в 1,5–1,8 раза больше, чем в нормальных условиях.

Список литературы

1. *Холмирзаев, С. А.* Температурные изменения в керамзитобетонных колоннах в условиях сухого жаркого климата // Бетон и железобетон. – 2001. – № 2. – С. 7–9.
2. *КМК 2.01.01-94.* Климатические и физико-геологические данные для проектирования / Госкомархитекстрой Республики Узбекистан. – Ташкент, 1994.
3. *Раззаков, С. Ж., Холмирзаев, С. А., Угли, Б. М.* Расчет усилий трещинообразования сжатых железобетонных элементов в условиях сухого жаркого климата // Символ науки. – 2015. – № 3. – С. 57–60.
4. *Холмирзаев, С. А., Комилова, Н. Х.* Влияние сухого жаркого климата на ширину раскрытия трещин внецентренно-сжатых железобетонных элементов // Приволжский научный вестник. – 2015. – № 4-1 (44). – С. 43–45.
5. *Холмирзаев, С. А., Саркасов, С. З.* Ползучесть шлакобетона в условиях сухого жаркого климата // Актуальные проблемы научной мысли : сб. статей Международной научно-практической конференции. – 2014. – С. 41–43.
6. *Милованов, А. Ф., Самойленко, В. Н.* Расчет железобетонных конструкций для сухого жаркого климата (расчет,

проектирование и испытание железобетонных конструкций, предназначенных для эксплуатации в условиях сухого жаркого климата). – Ташкент : ТашПИ, 1985. – С. 4–6.

7. *Милованов, А. Ф., Камбаров, Х. У.* Расчет железобетонных конструкций для условий жаркого климата. – Ташкент : Укитувчи, 1991. – 176 с.
8. *Абдурахмонов, С. Э., Мавлонов, Р. А.* Трещины в железобетонных изделиях при изготовлении их в нестационарных условиях // Наука и образование: проблемы и перспективы : материалы Международной научно-практической конференции. – Уфа, 2014. – С. 197.
9. *Ильина, Л. В.* Повышение эксплуатационных характеристик строительных материалов на основе цемента длительного хранения : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2011. – 39 с.

УДК 519.21

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ МОНОЛИТНОГО ДОМОСТРОЕНИЯ г. УЛАН-УДЭ

А.А. Бардаханова*, А.Б. Виноградов**

Рассмотрена многофакторная модель для расчета критерия эффективности принимаемых организационно-технологических решений с определением границ рационального применения. Решены задачи формирования факторного пространства и выбора наиболее значимых факторов, влияющих на организационно-технологические решения строительных процессов, анализа количественных характеристик факторов, выбора многофакторной регрессионной модели, учитывающей комплексное влияние факторов на выбранный критерий эффективности. Исследования проводились с использованием нетрадиционной экспертной системы.

Ключевые слова: факторное пространство, показатели факторов, регрессионная модель, экспертная система, интегральный график.

Введение

За последнее десятилетие в Республике Бурятия доля объектов, возводимых из монолитного железобетона, значительно выросла. Так, в г. Улан-Удэ в 2016–2017 гг. доля монолитных зданий составила около 20 % от общей площади строящегося жилого фонда. Между тем анализ деятельности предприятий монолитного домостроения показывает значительные колебания себестоимости строительной продукции, превышение сроков строительства по сравнению с календарными планами, отмечается низкое качество проектных решений и строительных работ.

* Магистрант кафедры технологии и организации строительства НГАСУ (Сибстрин)

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

Все это свидетельствует о больших резервах повышения эффективности строительного производства.

Технологический процесс монолитного строительства довольно сложен и подвержен влиянию значительного числа факторов. Вопрос усложняется постоянным совершенствованием технологии ведения работ, большим ассортиментом опалубочных систем, средств механизации, сильным влиянием погодноклиматических условий на строительные процессы, значительной трудоемкостью выполнения отдельных технологических работ.

Для успешного решения задач, стоящих перед подрядными строительными организациями, необходима разработка научно обоснованных практических рекомендаций для их успешной безубыточной деятельности, которые могут быть получены путем исследований по выявлению и изучению факторов, оказывающих наибольшее влияние на эффективность организационно-технологических решений строительных процессов, применяемых в монолитном домостроении.

Цель исследования

Целью исследования является повышение эффективности строительного производства в монолитном домостроении г. Улан-Удэ на основе оценки организационно-технологических решений.

Классификация факторов, влияющих на организационно-технологические решения строительных процессов

При изучении факторного пространства возникает задача об определении величины степени влияния отдельных факторов на определяющий критерий качества. По диаграмме рангов отобранные факторы (см. таблицу), расположенные выше граничной линии, определяющей величину порогового значения:

Классификация наиболее значимых факторов организационно-технологического характера, влияющих на эффективность строительного производства в монолитном домостроении

№ п/п	Наименование фактора	Условное обозначение	По времени проявления		По степени управляемости	
			постоянный	дискретный	управляемый	условно неуправляемый (стабильный)
1	Объем монолитного железобетона в здании	X_1	+	–	–	+
2	Число этажей в здании	X_2	+	–	–	+
3	Особенности конструктивных решений	X_3	+	–	–	+
4	Доля монолитных конструкций, возводимых с применением индивидуальной опалубки	X_4	+	–	–	+
5	Условия стесненности на строительной площадке	X_5	+	–	–	+
6	Влияние погодных-климатических условий	X_6	–	+	+	–
7	Комплектация опалубочными системами	X_7	+	–	+	–
8	Уровень использования строительных машин и механизмов	X_8	+	–	+	–
9	Степень специализации строительных процессов	X_9	+	–	+	–
10	Комплектация трудовыми ресурсами	X_{10}	+	–	+	–

1. Фактор X_1 . Количественно объем монолитного железобетона в здании V_m измеряется в кубических метрах геометрического объема всех конструкций, образующих монолитный железобетонный каркас здания:

$$V_m = \sum v_i, \quad (1)$$

где v_i – геометрический объем отдельных монолитных железобетонных i -х конструкций, образующих каркас здания, м^3 .

Диапазон вариации показателя V_m определен в следующих границах:

$$1000 < V_m < 10000.$$

2. Фактор X_2 . Показатель N_3 определяется числом этажей в здании, включая этажи ниже нулевой отметки и технические этажи, и имеет следующие типичные границы изменения, принятые в нашем исследовании:

$$5 \leq N_3 \leq 30.$$

3. Фактор X_3 . Важность показателя обусловлена различиями в технологии выполнения разнообразных монолитных конструкций и элементов (плит и лент фундаментов, стен, колонн, перекрытий, лестничных маршей и др.), применяемых опалубочных систем и трудоемкости выполнения работ.

Данный фактор оценивается через показатель, вычисляемый как отношение объема вертикальных и горизонтальных конструкций (б/р), выполняемых из монолитного железобетона:

$$K_{\text{в/г}} = \frac{V_v}{V_h}, \text{ б/р}, \quad (2)$$

где V_v – объем вертикальных монолитных конструкций (стен, колонн, парапетов, ребер жесткости) в здании, м^3 ; V_h – объем горизонтальных монолитных конструкций (перекрытия, балки, лестничные марши и площадки) в здании, м^3 .

Данный показатель изменяется в следующих границах:

$$0,23 \leq K_{in} \leq 1,60.$$

4. Фактор X_4 . Оценка влияния наличия оригинальных архитектурных элементов проводилась показателем:

$$K_u = \frac{V_t}{V_i} 100\% , \quad (3)$$

где V_t – общий объем монолитных железобетонных конструкций в здании, возводимых с использованием типовой инвентарной и индивидуальной опалубки, m^3 ; V_i – объем монолитных железобетонных конструкций, возводимых с применением индивидуальной (как правило, однократного применения) опалубки, m^3 .

В исследовании значения показателя ограничены в следующих пределах:

$$0,01 \leq K_u \leq 0,051.$$

5. Фактор X_5 . Предлагается оценивать данный фактор через следующий показатель:

$$S_{nl} = \frac{S_s}{S_o} 100\% , \quad (4)$$

где S_s – площадь, занимаемая строящимся зданием, m^2 ; S_o – общая площадь, занимаемая строительной площадкой, m^2 :

$$S_o = S_s + S_{cm} + S_{\sigma z} + S_{dn} + S_{zm} ,$$

где S_{cm} – площадь складов для хранения материалов; $S_{\sigma z}$ – площадь, занимаемая бытовым городком строителей; S_{dn} – площадь временных дорог; S_{zm} – рабочие зоны строительных машин.

В условиях городской застройки показатель S_{nl} , как правило, определяется в следующих пределах:

$$0,1 \leq S_{nl} \leq 0,5 .$$

6. Фактор X_6 . Данный фактор характеризуется показателем, определяемым по формуле:

$$K_k = \frac{T_s - T_o}{T_s} 100\%, \quad (5)$$

где T_s – продолжительность строительства монолитного железобетонного каркаса здания, определенная на основе календарного плана строительства объекта, мес.; T_o – период преобладания температуры ниже 5°C во время строительства объекта, мес.

Данный показатель изменяется в границах

$$0 \leq K_k \leq 1.$$

7. Фактор X_7 . Оценка производится через показатель удельной стоимости комплекта опалубки K_{on} , руб./м³, рассчитываемый как отношение стоимости комплекта опалубки S_o (руб.), используем на данном объекте, к усредненному объему монолитных работ V_r (м³), выполняемому за отчетный период (месяц).

$$K_{on} = \frac{S_o}{V_r}. \quad (6)$$

Показатель, как правило, изменяется в пределах

$$1500 \leq K_{on} \leq 9000.$$

8. Фактор X_8 . Для оценки уровня использования строительных машин и механизмов предлагается использовать показатель

$$K_m = \sum_{i=1}^n \frac{t_{pi} - t_{ni}}{t_{pi}} 100\%, \quad (8)$$

где t_{pi} – производственное время i -го механизма на объекте, маш.-ч; t_{ni} – непроизводственное время i -го механизма на объекте, маш.-ч.

При исследовании принимаем границы вариации показателя

$$0,6 \leq K_m \leq 1,0.$$

9. Фактор X_9 . Специализация характеризуется показателем отношения количества специализированных звеньев к количеству специализированных процессов на данном объекте:

$$K_c = \frac{N_z}{N_p} 100\%, \quad (9)$$

где N_z – количество специализированных звеньев, занятых на выполнении отдельных технологических операций при строительстве объекта из монолитного железобетона; N_p – количество технологических операций, составляющих комплекс монолитных работ на объекте.

Показатель специализации меняется в пределах

$$0 < K_c < 1.$$

При $K_c \rightarrow 1$ специализация строительных процессов стремится к максимальному значению, при $K_c \rightarrow 0$ следует, что монолитные работы выполняются комплексными бригадами.

10. Фактор X_{10} . Количественно фактор выражается через показатель насыщенности фронта работ

$$K_{mp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Q_{ri}}{T_{ri}}, \text{ чел.}, \quad (10)$$

где Q_{ri} – трудоемкость выполнения i -го вида работ, чел.-ч; T_{ri} – фактическое время выполнения i -го вида работ, ч; n – количество специализированных процессов, составляющих комплекс монолитных работ на объекте.

Показатель K_{mp} изменяется в пределах

$$3,0 \leq K_{mp} \leq 17,0.$$

Пределы значений анализируемых показателей определялись согласно статистическим данным по объектам жилищно-гражданского назначения, возводимым в Улан-Удэ.

Определение закономерностей влияния организационно-технологических факторов на критерий эффективности строительного производства

Для оценки наиболее значимых факторов, приведенных в таблице, необходимо выбрать определенный показатель, который будет являться мерой эффективности принимаемых решений по организации и технологии строительных работ при возведении монолитного здания. Данный показатель называется критерием эффективности принимаемого решения. Под критерием эффективности понимается числовая функциональная характеристика системы (процесса или явления), которая оценивает степень ее приспособления к выполнению поставленных задач.

Определяющим критерием эффективности является себестоимость выполнения монолитных работ, так как данный показатель включает в себя всю совокупность расходов, связанных с их выполнением. Удельная себестоимость выполнения монолитных работ определяется эффективностью использования средств и предметов труда, что достигается применением оптимальных организационно-технологических решений в строительном производстве.

Для установления зависимостей технико-экономических показателей от отдельных факторов в научно-исследовательских работах в качестве инструмента, позволяющего количественно оценивать влияние факторов на определяющий критерий, чаще всего применяются теория корреляции и регрессионный анализ [2]. На основе количественных зависимостей строятся экономико-статистические модели.

Сформулируем основные задачи, которые решались при корреляционно-регрессионном анализе [1]:

- 1) установление факта наличия связи (корреляции) между величинами;
- 2) определение формулы уравнения регрессии;
- 3) определение параметров уравнения регрессии;
- 4) определение значимости установленной зависимости и достоверность отдельных параметров.

Задачи корреляции решаются всегда при заданном числе учитываемых признаков, т.е. признаков, значения которых из-

вестны для каждого элемента совокупности. Значения изучаемых признаков получены путем анализа статистического и бухгалтерского учета деятельности предприятий монолитного домостроения Улан-Удэ.

Анализ экспериментальных данных позволил сделать вывод, что наиболее предпочтительной и обладающий значительной теснотой корреляционной связи является параболическая зависимость между отдельными факторами и критерием эффективности.

Уравнение регрессии при параболической форме связи:

$$\tilde{y} = a_0 + a_1x + a_2x^2,$$

где \tilde{y} – результирующий признак; x – показатель, характеризующий исследуемый фактор; a_0 – свободный член уравнения; a_i – коэффициенты при показателях.

Анализ полученных парных зависимостей удельной себестоимости выполнения монолитных работ от выбранных факторов позволил сделать вывод о том, что наиболее тесная связь удельной себестоимости обнаруживается с факторами $X_1, X_4, X_6, X_7, X_9, X_{10}$; умеренная связь отмечается у факторов X_2, X_3, X_5, X_8 .

Применение нетрадиционной экспертной системы при оценке организационно-технологических решений

«Нетрадиционная экспертная система разрабатывалась в целях формализации процесса формирования вербальных и математических моделей различных явлений. Назначение программы – предоставить пользователю элементарный сервис по сбору, вводу, хранению и анализу данных, получаемых в ходе процесса построения модели явления» [2].

Оценка организационно-технологических решений проводится поэтапно.

Этап 1. Постановка задачи. Этап постановки задачи включает: определение предметной области, к которой принадлежит исследуемое явление; формулировка названия задачи; построе-

ние вербального описания внешней стороны исследуемого явления; определение целей моделирования.

На рис. 1 представлен первый этап реализации экспертной системы.

Данная информация является отправной точкой исследовательской работы по моделированию задачи, именно поэтому стоит обратить пристальное внимание на проведение первого этапа исследования.

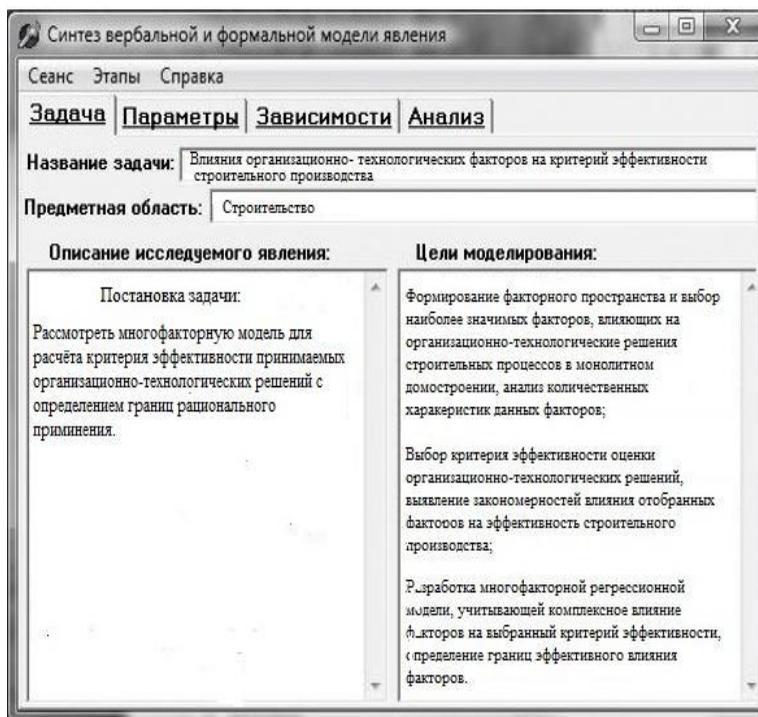


Рис. 1. Постановка задачи

Этап 2. Параметризация. На этом этапе формируются списки неуправляемых, управляемых и целевых параметров явления.

На странице «Параметры» (рис. 2) вводятся описания параметров исследуемого явления. Описание параметра состоит из названия (произвольной текстовой строки), кодового имени,

размерности параметра, минимального и максимального значения, которые может принимать параметр (числа задаются в обычном или экспоненциальном формате), заметки (краткого пояснения к параметру; может быть пропущена). Следует указать (допустимый) предполагаемый диапазон варьирования каждой функции цели.

Синтез вербальной и формальной модели явления

Сеанс Этапы Справка

Задача **Параметры** **Зависимости** **Анализ**

Неуправляемые переменные:

Название параметра	Код	Размерность	Минимум	Максимум	Заметки
Объем здания	X1	м3	1000	23000	
Количество этажей в здании	X2	шт	5	30	
Отношение объема вертикальных и горизонтальных конструкций, возводимых	X3	б/р	0,23	1,6	
Доля монолитных конструкций, возводимых	X4	б/р	0,01	0,051	
Стесненность площадки	X5	м2	0,1	0,5	

Управляемые переменные:

Название параметра	Код	Размерность	Минимум	Максимум	Заметки
Погодно-климатические условия	X6	%	0	1	
Комплектация опалубочными системами	X7	руб/м3	1500	9000	
Уровень использования машин и механизмов	X8	%	0,6	1	
Степень специализации строительных предприятий	X9	%	0	1	
Комплектация трудовыми ресурсами	X10	чел	3	17	

Зависимые переменные (показатели качества) :

Название параметра	Код	Размерность	Минимум	Максимум	Заметки
Удельная себестоимость работ	Y1	руб/м3	15000	18330	
Удельная себестоимость работ	Y2	руб/м3	18320	18893	
Удельная себестоимость работ	Y3	руб/м3	5000	8900	
Удельная себестоимость работ	Y4	руб/м3	3520	7840	
Удельная себестоимость работ	Y5	руб/м3	5000	33236	
Удельная себестоимость работ	Y6	руб/м3	9053	23860	
Удельная себестоимость работ	Y7	руб/м3	4900	8000	
Удельная себестоимость работ	Y8	руб/м3	10000	28990	
Удельная себестоимость работ	Y9	руб/м3	3190	7220	
Удельная себестоимость работ	Y10	руб/м3	15000	27575	

Рис. 2. Параметризация

Этап 3. Этап построения математической модели явления предполагает формирование системы одноместных взаимозависимостей между параметрами. Для каждой зависимости предполагается определить: название, параметр-аргумент, параметр-функцию, значения остальных параметров. После этого произ-

водится экспертная оценка зависимости, заключающаяся в построении описывающей ее кривой. Следующий шаг – формализация введенной кривой, предполагающая построение соответствующей ей аналитической зависимости. После этого выбираются реперные точки модели и проводятся эксперименты, на основании полученных экспериментальных данных и статистических оценок построенная модель корректируется (рис. 3).

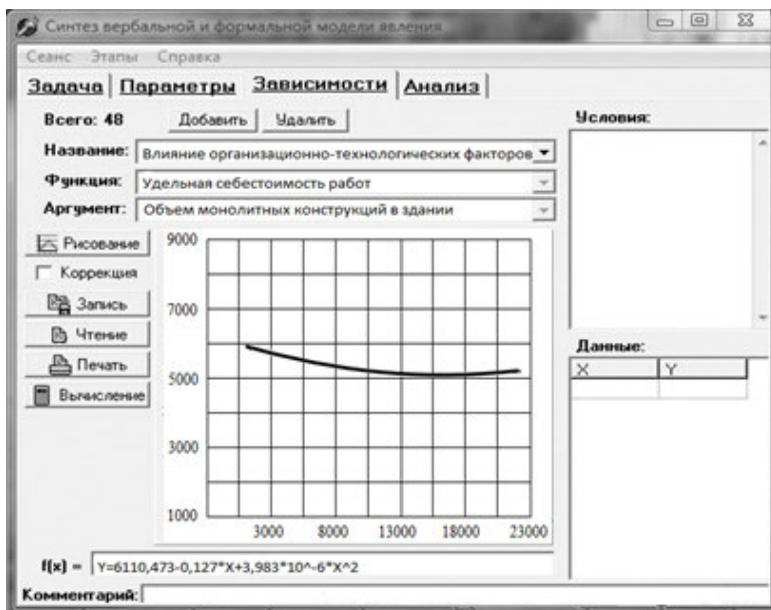


Рис. 3. Влияние объема монолитного железобетона (X_1) в здании на удельную себестоимость работ (Y_1)

Графики зависимостей $Y_2 = f_2(X_2) \dots Y_{10} = f_{10}(X_{10})$, полученные в результате анализа экспериментальных данных и установления достоверности параметров, приведены на рис. 4 при выполнении следующего этапа.

Этап 4. Определение границ рационального применения многофакторной модели.

Полученные при исследовании уравнения зависимости удельной себестоимости выполнения монолитных работ от фак-

торов, влияющих на организационно-технологические решения строительных процессов, позволяют управлять показателями, характеризующими данные факторы, для определения рациональных вариантов организационно-технологических решений.

Для этой цели необходимо определить область эффективных решений, т.е. необходимо наложить графики зависимости каждой функции цели от всех параметров. Причем необходимо осуществить это в одном масштабе (рис. 4).

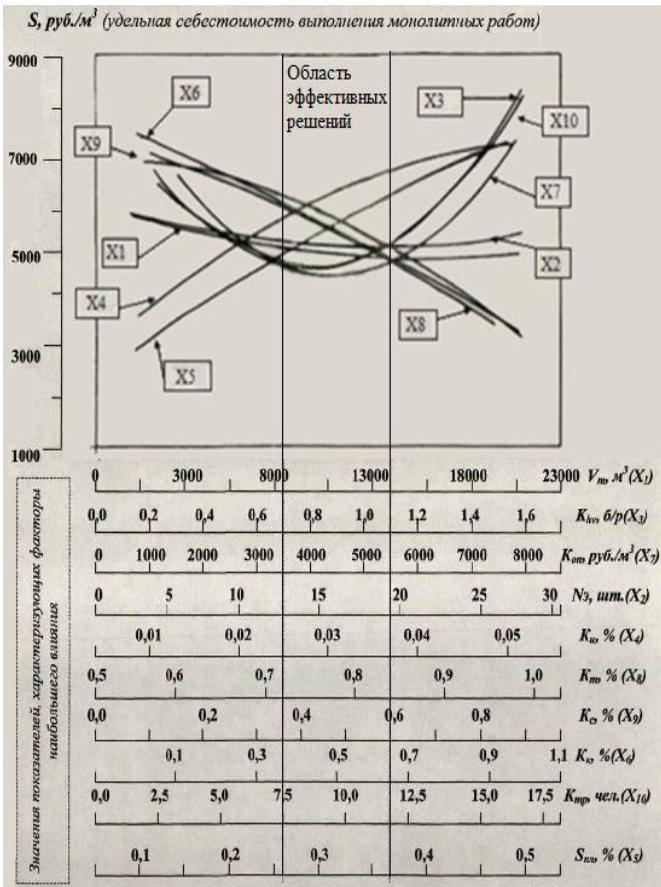


Рис. 4. Интегральный график границ эффективного использования статистико-математической модели

Использование данного графика позволяет значительно сократить множество возможных вариантов, так как становится возможным выбирать для анализа такие значения показателей, характеризующих факторы наибольшего влияния, при которых их комплексное влияние на показатель, характеризующий критерий эффективности, принимает наиболее рациональные значения.

Разработка многофакторной модели для расчета критерия эффективности принимаемых организационно-технологических решений

Основной задачей исследования является выявление такой зависимости, где будет учтено совокупное влияние всех наиболее значимых факторов на определяющий критерий эффективности строительного производства. Для исследования подобных зависимостей применяются модели множественной корреляции [3, 4]. По рекомендациям этих источников применена линейная форма связи множественной зависимости:

$$\tilde{y} = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n,$$

где \tilde{y} – расчетное значение показателя; x_i – факторы наибольшего влияния; a_0 и a_i – соответственно свободный член уравнения регрессии и коэффициенты при факторах.

Для проверки исследуемых показателей на мультиколлинеарность составлена матрица коэффициентов парной корреляции.

Анализ данной матрицы показал отсутствие тесной связи между организационно-технологическими факторами, определенными на основе экспертного опроса, следовательно, корреляционно-регрессионная модель должна учитывать все факторы наибольшего влияния.

В результате вычисления параметров многофакторной регрессионной модели получена зависимость для расчета критерия оценивания факторов:

$$S = 6437,38 - 0,04X_1 + 22,62X_2 - 128,18X_3 + 22790,75X_4 + \\ + 0,12X_5 - 1919,35X_6 - 1054,83X_7 - 29,36X_8 - 1855,27X_9 + \\ + 4910,30X_{10}.$$

Проверка значимости уравнения регрессии осуществлена по критерию F_p Фишера. Расчетное значение $F_p = 37,334$. Табличное значение критерия Фишера для 5 %-го уровня распределения при количестве наблюдений $n = 50$ и количестве коэффициентов в уравнении регрессии $k = 10$ установлено $1,669 < < F_p$. Следовательно, полученное уравнение множественной регрессии значимо и на хорошем уровне отражает многофакторную зависимость определяющего критерия от показателей, характеризующих факторы наибольшего влияния.

Выводы

Сформулировано факторное пространство из факторов, оказывающих влияние на эффективность организационно-технологических решений строительных процессов в монолитном домостроении.

Методом экспертного опроса выявлены факторы наибольшего влияния. Произведена количественная оценка изучаемых факторов, определен критерий эффективности.

Методом корреляционно-регрессионного анализа выявлены закономерности влияния отдельных факторов наибольшего влияния на определяющий критерий – удельную себестоимость выполнения монолитных работ. Построена многофакторная регрессионная модель, учитывающая комплексное влияние факторов на определяющий критерий.

Список литературы

1. Баркалов, С. А., Мещерякова, О. К., Колтачёв, В. Н., Курочка, П. Н. Основы научных исследований по организации и управлению строительным производством. – Воронеж, 2002. – 416 с.

2. *Большаков, В. И., Дубров, Ю. И.* Примеры применения эмпирических и экспериментальных данных для синтеза модели СС // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2012. – № 7–8. – С. 5–16.
3. *Бережная, Е. В., Бережной, В. И.* Математические методы моделирования экономических систем : учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Финансы и статистика, 2006. – 432 с.
4. *Дубровский, С. А.* Прикладной многомерный статистический анализ. – Москва : Финансы и статистика, 1982. – 215 с.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНЫ ПРОРЫВА В КАНАЛАХ С ПОМОЩЬЮ ПК ANSYS

А.О. Валов^{*}, В.В. Дегтярев^{}, Н.Н. Федорова^{***}**

Выполнен сопоставительный анализ результатов численного и экспериментального исследования параметров волн перемещения в лотках прямоугольной формы поперечного сечения с различной донной шероховатостью при «мгновенном» устранении преграды, создающей первоначальный перепад уровней. В работе использован программный комплекс ANSYS.

Ключевые слова: волны перемещения, численный эксперимент, программный комплекс ANSYS.

Введение

В настоящее время на территории России эксплуатируются несколько десятков тысяч водоподпорных сооружений. При этом около 10 млн человек проживают на территории нижнего бьефа. Прорыв плотин может привести и приводит к огромным материальным потерям, ухудшению состояния окружающей среды, а также к многочисленным человеческим жертвам.

Плотины из грунтовых материалов, зачастую представляющие собой основной элемент напорного фронта, – это источник наибольшей потенциальной опасности с точки зрения возникновения и развития аварии. При аварии наиболее опасным последствием является разрушение напорного фронта, возникновение волны прорыва и затопление территории.

^{*} Магистрант кафедры гидротехнического строительства, безопасности и экологии НГАСУ (Сибстрин)

^{**} Д-р техн. наук, профессор кафедры гидротехнического строительства, безопасности и экологии НГАСУ (Сибстрин)

^{***} Д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры прикладной математики НГАСУ (Сибстрин)

Безусловно, оценка параметров волн перемещения, включая скорость распространения и глубин потока, представляет интерес с точки зрения оценки зоны затопления.

Исследование гидродинамических аспектов развития аварийных ситуаций требует выполнения комплексных экспериментальных и расчетно-теоретических исследований.

Разработка новых и дальнейшее развитие уже известных математических моделей, их калибровка определяют необходимость проведения специальных лабораторных опытов, результаты которых позволят провести валидацию численной модели и выбрать наиболее адекватные методы численного решения [1–3].

Вопросы экспериментального и численного моделирования нестационарных процессов, развивающихся в руслах со сложной высотной и плановой геометрией, отражены в ряде публикаций [1–12].

Целью настоящей работы является численное моделирование волны прорыва для двух серий физических экспериментов и дальнейший сопоставительный анализ результатов вычислений с результатами серий физических экспериментов.

Серия экспериментов № 1

Исследование неустановившегося движения в виде волны наполнения (бора) в первой серии экспериментов проводилось в бетонном лотке длиной 100 м, шириной 1 м (рис. 1), разделенном на две части: верхний бьеф длиной 30 м, высота бортов 1,3 м, и нижний бьеф длиной 70 м, высота бортов 1 м. Бьефы разделены вертикальным быстро открывающимся затвором (рис. 2).

Средняя абсолютная высота выступов шероховатости дна бетонного лотка составляла порядка 1,5 мм.

Для регистрации уровня свободной поверхности использовались емкостные датчики. Условия опытов первой серии экспериментов – начальная глубина воды в верхнем H_v и нижнем H_n бьефах, расстояния от затвора до створов расположения датчиков – указаны в табл. 1.



Рис. 1. Распространение переднего фронта бора



Рис. 2. Выпускное устройство-затвор

Таблица 1

Условия физического эксперимента

Опыт №	H_B , м	H_H , м	Расстояния до створов расположения датчиков, м						
			l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	l_6	l_7
1	1,2	0,3	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0
2	1,2	0,45							

Расчеты проведены в программном комплексе ANSYS Fluent в нестационарной двумерной постановке на основе осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье – Стокса, дополненных стандартной $k-\omega$ моделью турбулентности [13]. Для описания многофазности применялась модель Volume of Fluid [14], которая используется для моделирования двух или более несмешивающихся фаз с четкой границей раздела. В рамках этой модели для всех фаз применяется общее уравнение движения и решаются уравнения для объемной концентрации каждой фазы. Предполагается, что фазы не могут перемешиваться и проникать одна в другую, поэтому в большинстве ячеек вычислительной области их объемная концентрация равна 0 или 1. Движение поверхности раздела фаз рассчитывается на фиксированной эйлеровой сетке. Если в какой-то ячейке объемная концентрация не равна одному из предельных значений, это означает, что в этой ячейке находится граница межфазного раздела. Модель хорошо описывает стратифицированные течения, течения со свободной поверхностью, заполнение жидкостью сосуда, вы-

плескивание жидкости, движение больших газовых пузырей в трубах и каналах, разлив жидкости по сухому руслу после разрушения плотины и другие течения.

Геометрическая модель в численном эксперименте первой серии опытов полностью повторяет размеры экспериментальной установки (рис. 3).

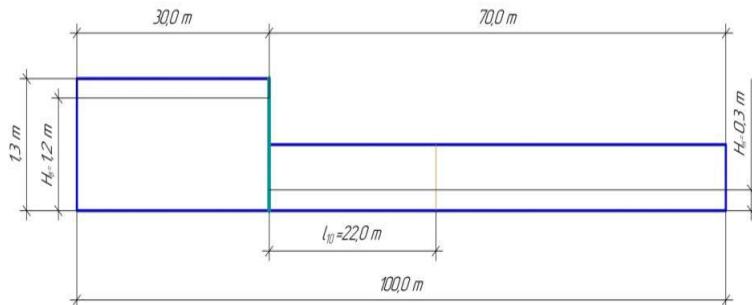


Рис. 3. Геометрическая модель лотка (для условий опыта № 1)

Геометрическая модель и расчетная сетка построены в ANSYS Workbench с использованием модулей Design Modeler и Meshing. Расчетная область строилась с помощью инструмента Sizing со сгущением ко всем твердым поверхностям. Изначально были построены три варианта сеток: с общим количеством расчетных ячеек порядка 500 000, 1 000 000 и 200 000. Дальнейшим действием было проведение первичных расчетов на данных сетках. В итоге для проведения численного эксперимента был сделан выбор сетки с количеством расчетных ячеек, равным 1 000 000.

В результате численного эксперимента был определен ход изменения уровня свободной поверхности во времени в различных створах. На рис. 4 представлены результаты численного и физического моделирования распространения волны перемещения. Створ измерений расположен на расстоянии 22 м от створа щита, при начальном перепаде уровней воды 0,9 м (начальная глубина в верхнем бьефе 1,2 м, в нижнем бьефе 0,3 м).

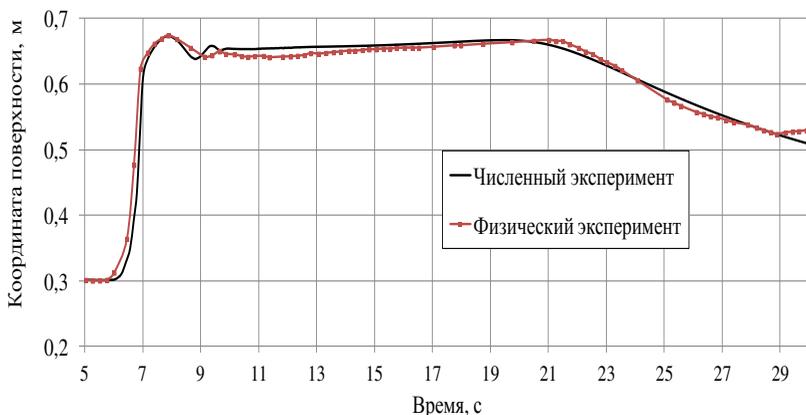


Рис. 4. Результаты численного и физического экспериментов

Серия экспериментов № 2

В первой серии экспериментов не оценивалось влияние донной шероховатости на параметры перемещения волн, что имеет весьма важное значение для процесса распространения в естественных условиях, что и было выполнено во второй серии экспериментов.

Экспериментальная установка представляла собой стеклянный лоток длиной 20 м и поперечным сечением 1,4×0,7 м (рис. 5). На расстоянии 10 м от начала рабочей части лотка создавался сосредоточенный перепад уровней воды. В начальный момент времени задвижка (рис. 6), разделяющая «верхний» и «нижний» бьефы, убиралась, и в канале формировалась волна прорыва.

Высота воды в верхнем H_v и нижнем H_n бьефах изменялась в эксперименте согласно табл. 2, в которой также представлены расстояния от начального створа перепада уровней воды до точек замеров глубины волны.

На данной установке была проведена серия экспериментов для гладкого дна (окрашенные металлические листы) и дна с усиленной искусственной шероховатостью. Шероховатость формировалась путем закрепления частиц на дне лотка с помощью водостойкого клея. Размеры частиц фракции изменялись от

$d_{\min} = 1,204$ мм до $d_{\max} = 2,5$ мм (шероховатость № 1) (рис. 7), от $d_{\min} = 3,6$ мм до $d_{\max} = 5,0$ мм (шероховатость № 2) (рис. 8). Для регистрации уровней воды использовались емкостные датчики.



Рис. 5. Экспериментальная установка серии экспериментов № 2



Рис. 6. Задвижка

Таблица 2

Условия физического эксперимента

Опыт №	H_b , м	H_n , м	Расстояния до створов расположения датчиков, м			
			l_1	l_2	l_3	l_4
1	0,25	0,15	0,15	3,0	5,0	8,0
2	0,25	0,2	0,5	2,0	5,0	–
3	0,25	0,15	0,15	0,5	4,5	7,5



Рис. 7. Шероховатость № 1



Рис. 8. Шероховатость № 2

Геометрическая модель в численном эксперименте второй серии опытов полностью повторяет размеры экспериментальной установки (рис. 9).

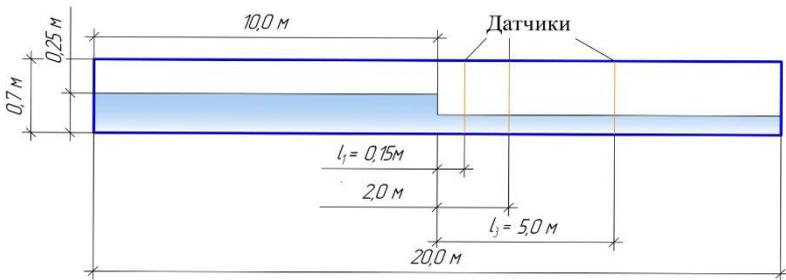


Рис. 9. Геометрическая модель лотка (для условий опыта № 2)

Геометрическая модель и расчетная сетка построены в ANSYS Workbench с использованием вышеуказанных модулей

и методов. Первичные расчеты были проведены также на трех вариантах сеток: с общим количеством расчетных ячеек порядка 500 000, 1 000 000 и 200 000, и в итоге выбрана сетка с количеством расчетных ячеек, равным 1 000 000.

В результате расчетов были построены графики, показывающие изменение уровня свободной поверхности во времени (рис. 10). Результаты численного моделирования сопоставлены с данными физического эксперимента.

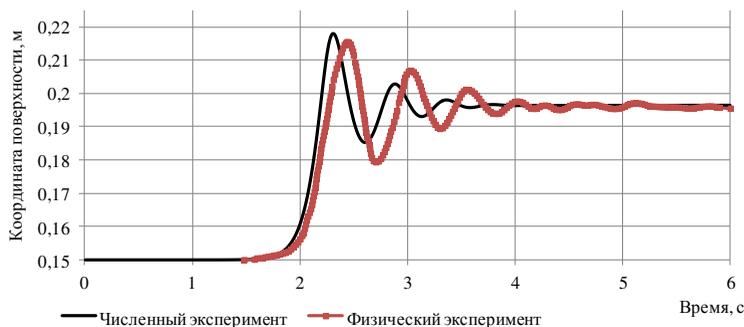


Рис. 10. Результаты численного и физического экспериментов (для створа на расстоянии 3 м от начального перепада уровней воды)

На рис. 10 представлены графики результатов численного и физического экспериментов для условий опыта № 1 (гладкое дно) в точке замера $l_3 = 3$ м. Сопоставление результатов показывает удовлетворительное качественное и количественное соответствие расчетных и экспериментальных данных.

Выводы

Проведено численное моделирование неустановившегося движения в виде волны наполнения (бора) в канале с учетом и без учета шероховатости дна. Для проведения численного моделирования был применен программный комплекс ANSYS. В ходе численного моделирования изучен процесс распространения волны прорыва в канале и, в частности, влияние шероховатости дна на параметры потока.

Для обеих серий экспериментов получено удовлетворительное качественное и количественное соответствие расчетных и экспериментальных данных. Однако во второй серии экспериментов расчетная амплитуда волны превышает экспериментальное значение, что может быть связано с погрешностью измерительной аппаратуры, трудностями проведения измерений для условия нестационарного движения.

Список литературы

1. Букреев, В. И., Дегтярев, В. В., Чеботников, А. В. Экспериментальная проверка методов расчета волн после частичного разрушения плотины // ПМТФ. – 2008. – Т. 49, № 5. – С. 61–69.
2. Букреев, В. И., Гусев, А. В., Остапенко, В. В. Распад разрыва свободной поверхности над уступом дна канала // Известия РАН. МЖГ. – 2003. – № 6. – С. 72–82.
3. Ковыркина, О. А., Остапенко, В. В. Сравнение теории и численного эксперимента в задаче о разрушении плотины на скачке площади сечения прямоугольного канала // Известия РАН. МЖГ. – 2013. – № 3. – С. 12–23.
4. Христианович, С. А. Неустановившееся движение в каналах и реках // Некоторые вопросы механики сплошной среды. – Москва ; Ленинград : Изд-во АН СССР, 1938. – С. 15–154.
5. Стокер, Дж. Дж. Волны в воде. Математическая теория и приложения. – Москва : Изд-во иностранной литературы, 1959. – 617 с.
6. Букреев, В. И., Гусев, А. В., Остапенко, В. В. Волны в открытом канале, образующиеся при удалении щита перед неровным дном типа шельфа // Водные ресурсы. – 2004. – Т. 31, № 5. – С. 540–545.
7. Dressler, R. F. Comparison of theories and experiments for the hydraulic dam-break wave // Int. Assoc. Sci. Hydrology. – 1954. – No. 38. – P. 319–328.
8. Букреев, В. И., Гусев, А. В. Гравитационные волны при распаде разрыва над уступом дна открытого канала // ПМТФ. – 2003. – Т. 44, № 4. – С. 64–75.

9. *Атавин, А. А., Букреев, В. И., Васильев, О. Ф., Дегтярев, В. В., Яненко, А. П.* Гидродинамические аспекты нештатных и аварийных ситуаций на гидротехнических сооружениях : монография. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2009. – 328 с.
10. *Остапенко, В. В.* Течения, возникающие при разрушении плотины на скачке ширины прямоугольного канала // ПМТФ. – 2012. – Т. 53, № 5. – С. 55–66.
11. *Pedersen, G., Gjevik, B.* Run-up of solitary waves // J. Fluid Mech. – 1983. – Vol. 135. – P. 283–299.
12. *Longuet-Higgins, M.* Capillary-gravity waves of solitary type on deep water // J. Fluid Mech. – 1989. – Vol. 200. – P. 451.
13. *Wilcox, D. C.* Formulation of the k - ω Turbulence Model Revisited // AIAA Journal. – 2008. – Vol. 46, No. 11. – P. 2823–2838.
14. *Hirt, C. W., Nichols, B. D.* Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries // Journal of Computational Physics. – 1981. – Vol. 39, No. 1. – P. 201–225.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ НЕЛИНЕЙНОГО РАСЧЕТА ВЫСОТНЫХ МАЧТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ С РАСТЯЖКАМИ

Г.И. Гребенюк^{*}, Е.В. Яньков^{}, В.С. Целикова^{***}**

Разработаны алгоритмы и программные модули нелинейного расчета высотных мачтовых конструкций, усиленных тросовыми растяжками. Конструкции работают в условиях продольно-поперечного изгиба. Наличие растяжек учитывается добавлением дополнительной продольной силы, изгибающей пары и упругоподатливой горизонтальной связи в месте закрепления растяжек. Также разработаны методика аналитического расчета и численный алгоритм расчета, основанный на пошаговом нагружении конечно-элементной модели мачты. Проведены сравнительные расчеты выбранных вариантов мачты с использованием разработанных программных модулей и программных комплексов SCAD и ANSYS.

Ключевые слова: мачтовые конструкции, нелинейный расчет, тросовые растяжки, аналитический расчет, конечно-элементная модель, пошаговое нагружение, сравнительные расчеты.

Введение

Деформирование мачтовых конструкций, расчетная схема которых принята в виде стержневой модели, происходит, как правило, в условиях продольно-поперечного изгиба. При этом основной поперечной нагрузкой является ветровая, а продольные нагрузки включают вес технологического оборудования и обслуживающего персонала, а также собственный вес конструкции. В том случае, когда высота мачты является значительной, а сквозной вариант мачты в виде пространственной стержневой модели по каким-либо причинам (прежде всего – технологическим) неприемлем, ветровое воздействие на внешнюю боковую поверхность мачты является максимальным, и необхо-

^{*} Д-р техн. наук, профессор кафедры строительной механики НГАСУ (Сибстрин)

^{**} Канд. техн. наук, доцент кафедры строительной механики НГАСУ (Сибстрин)

^{***} Магистрант кафедры строительной механики НГАСУ (Сибстрин)

димы меры для усиления сопротивляемости мачты нагрузкам. К таким мерам можно отнести устройство неподвижного заземления в нижнем сечении мачты и установку тросовых растяжек, что повышает устойчивость мачты по отношению к опрокидыванию, снижает максимальные усилия в сечениях и максимальные поперечные перемещения сечений мачты.

Наиболее рациональным с точки зрения восприятия ветрового воздействия представляется круглое кольцевое сечение мачты. Однако оно неудобно с позиции размещения технологического оборудования, и в данном исследовании принято квадратное кольцевое сечение мачты. Наличие тросовых растяжек, которые являются односторонними связями, усложняет расчет мачты при продольно-поперечном изгибе, так как приводит к появлению дополнительных сосредоточенных нагрузок, зависящих не только от поперечной ветровой нагрузки, но и в целом от результатов нелинейного расчета мачты при продольно-поперечном изгибе. По той же причине усложняются задачи оптимизации данного вида конструкций.

В связи с вышеизложенным представляется актуальной задача разработки и программной реализации алгоритма нелинейного расчета высотной мачтовой конструкции с растяжками, который был бы удобен в дальнейшем при постановке и решении соответствующих задач оптимизации.

Расчетная схема мачты. Определение опасного направления ветра и рациональной расстановки растяжек

Расчетная схема рассматриваемой системы представлена на рис. 1. Мачта нагружена поперечной ветровой нагрузкой, интенсивность которой линейно меняется по высоте от q_v до aq_v , а также следующий продольной нагрузкой: F_1 , F_2 – нагрузки от технологического оборудования и обслуживающего персонала; G_1 , G_2 – эквивалентные сосредоточенные нагрузки собственного веса; F_r – продольная нагрузка, обусловленная наличием тросовых растяжек.

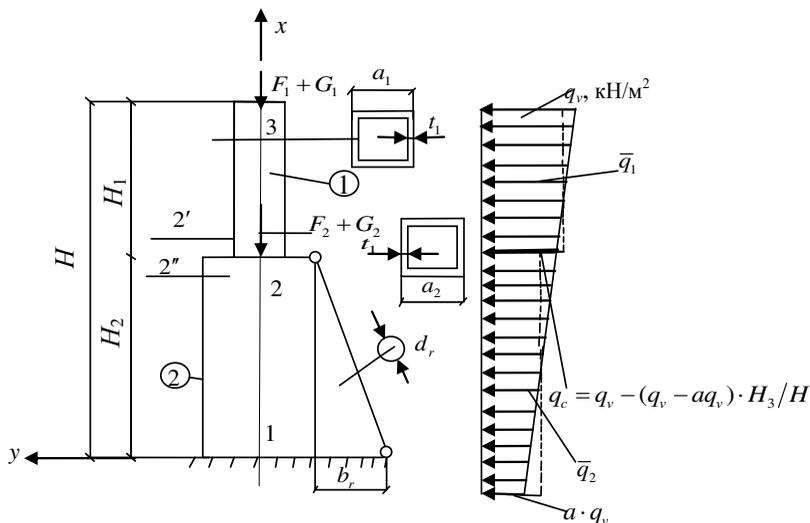


Рис. 1. Расчетная схема рассматриваемой системы

Квазистатическую ветровую нагрузку, включающую статическую и динамическую составляющие [1, 2], удобно представить в виде трапеции (рис. 1). Интенсивность ветрового давления в верхнем сечении мачты определяется согласно соотношению

$$q_v = q_0 \cdot k(z_e) \cdot c, \quad (1)$$

где q_0 – нормативное ветровое давление, назначаемое по СНиП 2.01.07-85* «Нагрузки и воздействия»; $k(z_e)$ – коэффициент, учитывающий высоту мачты; c – аэродинамический коэффициент.

Величина $a < 1$ находится в зависимости от площади истинной эпюры ветрового давления, определяемой согласно СНиП [10].

Анализ напряженного состояния мачты при действии только поперечных нагрузок показывает, что наиболее опасным направлением ветра при заданном квадратном кольцевом сечении мачты является направление вдоль диагонали (рис. 2б). В самом

деле, собирая ветровую нагрузку с учетом ширины паруса, получим следующие соотношение интенсивностей нагрузок при стержневой модели мачты:

$$q_d = \sqrt{2} \cdot q_c, \quad (2)$$

где q_d, q_c – интенсивности ветрового давления по высоте мачты при направлениях ветра по диагонали и вдоль стороны соответственно, кН/м.

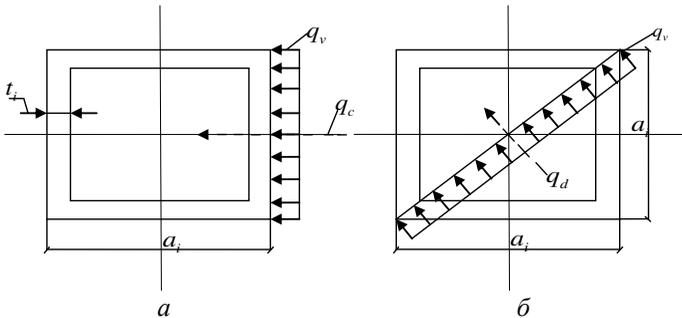


Рис. 2. Варианты направления ветра

С учетом (2) $M_{d\max} = \sqrt{2}M_{c\max}$. Моменты сопротивления сечения мачты вдоль стороны и по диагонали:

$$W_c = \frac{2I_c}{a_c}; \quad W_d = \frac{2I_d}{\sqrt{2}a_c}.$$

Так как сечение мачты правильное, моменты инерции $I_d = I_c = I$. Максимальные нормальные напряжения:

$$\sigma_{\max}^c = \frac{M_{c\max} \cdot a_c}{2 \cdot I}; \quad \sigma_{\max}^d = \frac{\sqrt{2}M_{c\max} \cdot \sqrt{2}a_c}{2 \cdot I} = 2\sigma_{\max}^c. \quad (3)$$

Следовательно, направление ветра по диагонали вдвое опаснее, чем направление вдоль стороны сечения.

При расстановке четырех тросовых растяжек рассматривались два варианта: растяжки крепятся в углах сечения и направлены вдоль диагоналей; растяжки крепятся в серединах сторон и направлены вдоль сторон сечения. При этом предполагалось,

что угол наклона растяжек (и, соответственно, длина) одинаков в обоих вариантах. Анализ работы растяжек показал, что второй вариант их расстановок выгоднее, так как при опасном направлении ветра работают две, а не одна (как в варианте 1) растяжка. Однако в целом для конструкции, с учетом удобства крепления растяжек, а также отсутствия местного изгиба стенок мачты, предпочтительнее вариант 1, который и был принят для дальнейшего рассмотрения.

Алгоритмы нелинейного расчета мачты

Нелинейность зависимостей между параметрами нагрузок и параметрами напряженно-деформированного состояния (НДС) обусловлена в данном случае так называемой конструктивной нелинейностью, т.е. изменением расчетной схемы в процессе нагружения. Вопрос расчета по деформированной расчетной схеме при продольно-поперечном изгибе достаточно широко представлен в учебных [3–6], нормативных [7] и научных [8, 9] источниках. Ниже представлены предлагаемые в данной работе алгоритмы и проведен сравнительный анализ результатов расчета с использованием различных алгоритмов и программных средств.

Использование точного решения

Точное решение будем находить на основе решения дифференциального уравнения продольно-поперечного изгиба мачты в перемещениях [5]:

$$V^{IV}(x) = q(x)/EI_z(x) + N(x)/EI_z \cdot V''(x), \quad (4)$$

где $V(x)$ – функция поперечных перемещений сечений на участке интегрирования; $q(x)$, $N(x)$ – функции интенсивности поперечной нагрузки и продольных сил на участке интегрирования.

При точном расчете мачты оказалось удобнее поменять направление осей x , y (рис. 3). Кроме того, введены следующие упрощения.

1. Изгибные жесткости участков и ветровая нагрузка на мачту (см. рис. 1) считаются постоянными в пределах участков.

Интенсивности ветрового давления на единицу длины мачты на участках 1, 2 равны:

$$\begin{aligned} q_1 &= \bar{q}_1 \cdot \sqrt{2a_1} = (q_v + q_c)/2 \cdot \sqrt{2} \cdot a_1; \\ q_2 &= \bar{q}_2 \cdot \sqrt{2a_2} = (q_c + a \cdot q_v)/2 \cdot \sqrt{2} \cdot a_2. \end{aligned} \quad (5)$$

2. Воздействие усилия $N_{p\Pi}$ в растяжке на мачту передается в узле 2 (рис. 3б) в виде внешнего изгибающего момента $M_{p\Pi} = N_{p\Pi} \cdot h_p$, продольной сжимающей силы $F_{1p\Pi} = N_{p\Pi} \cdot \sin \alpha$ и «балочной» поперечной силы $F_{2p} = K_{жсн} \cdot V_2$, причем $N_{p\Pi}$ – усилие в растяжке от поперечной нагрузки.

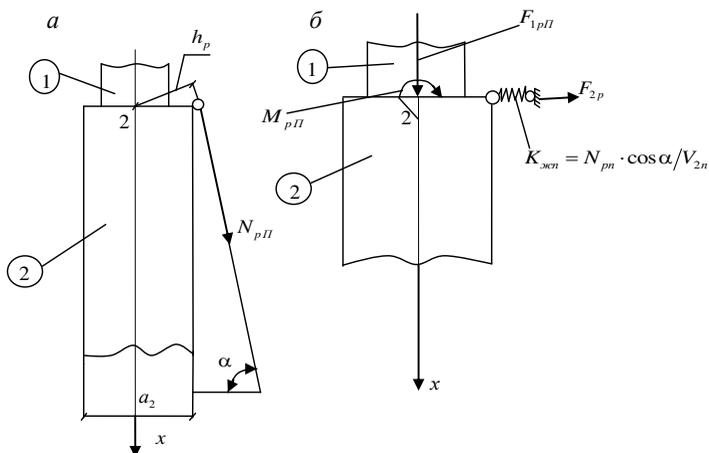


Рис. 3. Воздействие усилия в растяжке на мачту

Для уточнения расчета на участке 2 часть $F_{2p\Pi}$ «балочной» поперечной силы, обусловленная действием усилия в растяжке, вычисляется с учетом перемещения V_2 узла 2, найденного из расчета на продольно-поперечный изгиб участка 1. Жесткость $K_{жсн}$ условной упругой горизонтальной связи в узле 2 (рис. 3б) находится из расчета на поперечную ветровую нагрузку. Расчет был реализован в разработанном программном модуле МАСНТА по методу сил.

3. Распределенные продольные нагрузки собственного веса приведены к эквивалентным нагрузкам G_1, G_2 (рис. 1).

Введенные упрощения позволили найти решения уравнения (4) на участках 1, 2 по методу начальных параметров [5]. При этом часть начальных параметров обусловлена заданной расчетной схемой мачты, а остальные находятся из условий стыковки участков 1, 2 и условий закрепления мачты на участке 2.

$$\text{Участок 1: } M_{01} = 0; Q_{01}'' = 0. \quad (6)$$

Из условия стыковки участков 1, 2 получим:

$$\begin{aligned} V_{02} &= V_1(H_1); \quad \theta_{02} = \theta_1(H_1); \quad M_{02} = M_1(H_1) + M_{pII}; \\ Q_{02}'' &= Q_1''(H_1) + F_{2,pII}. \end{aligned} \quad (7)$$

Условия закрепления мачты на участке 2:

$$V_2(H_2) = 0; \quad \theta_2(H_2) = 0. \quad (8)$$

В выражениях (5)–(7): $M_{01}, Q_{01}'', M_{02}, Q_{02}''$ – начальные изгибающие моменты и «балочные» поперечные силы; $V_{01}, \theta_{01}, V_{02}, \theta_{02}$ – начальные перемещения на участках 1, 2.

Приближенный расчет по деформированной расчетной схеме в методе конечных элементов (МКЭ)

Предпосылки линейного расчета НДС системы в МКЭ предполагают использование недеформированной расчетной схемы. При этом появляются погрешности НДС, связанные с изменением положения узлов системы при деформировании. Для уточнения результатов линейного расчета рассматриваемого типа мачтовых конструкций предлагается процедура их пошагового нагружения с изменением координат узлов конечно-элементной схемы на каждом шаге.

При проведении процедуры расчета нагружение, которое считается параметрическим, делится на n шагов. Начальные координаты узлов принимаются согласно недеформируемой схеме, а начальные значения внутренних усилий равны 0.

На каждом шаге расчета строится матрица жесткости системы $K^{(j)}$ с текущими значениями координат узлов, а далее вы-

полняется линейный расчет с использованием заданного вектора нагрузок F :

$$K^{(j)} = \sum_{i=1}^{kel} \bar{K}_i^{(j)}; \quad \delta^{(j)} = K^{(j-1)} \cdot F, \quad (9)$$

где j – номер шага; kel – количество элементов системы; $K_i^{(j)}$ – матрица жесткости i -го КЭ на j -м шаге расчета.

Координаты узлов и значения параметров состояния системы на j -м шаге нагружения изменяются согласно соотношениям:

$$x^{(j)} = x^{(j-1)} + 1/n \cdot \delta^{(j)} \cdot (\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z); \quad (10)$$

$$S_{ik}^{(j)} = S_{ik}^{(j-1)} + 1/n \cdot S_{ik}^{(j)}(\delta^{(j)}, F), \quad (11)$$

где $\delta^{(j)}(\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z)$ – вектор линейных перемещений узлов системы; $S_{ik}^{(j)}$ – k -й параметр состояния i -го элемента системы.

Рассмотрение вопроса сходимости пошагового алгоритма расчета по МКЭ

Для рассмотрения была выбрана мачта, расчетная схема которой представлена на рис. 1 при следующих значениях параметров мачты и нагрузок: $H = 60$ м; $b_r = 18$ м; $H_1 = 20$ м; $a_1 = a_2 = 0,5$ м; $t_1 = t_2 = 0,006$ м; $d_r = 0,01$ м; $q_v = 0,56$ кН/м²; $aq_v = 0,46$ кН/м²; $F_1 = 10$ кН; $F_2 = 20$ кН; $\gamma = 78$ кН/м³ (сталь).

При анализе сходимости было рассмотрено разное число шагов разбиения нагрузки (от 1 до 500). Один шаг разбиения соответствует линейному расчету по недеформированной схеме. На рис. 4 приведены результаты расчетов по отношению к поперечному перемещению V_3 верхнего сечения мачты.

Как показывают графики на рис. 4, предложенный алгоритм нелинейного расчета достаточно быстро сходится за 30–40 шагов, а далее незначительно уточняется при увеличении числа шагов до 100. Попытки уточнения результатов расчета при увеличении n до 500 шагов (рис. 5) приводят к осцилляциям параметров НДС на уровне значений, найденных при $n = 60$ –100.

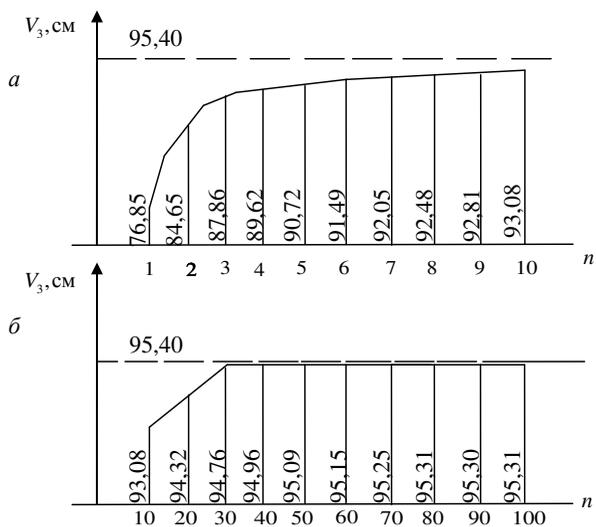


Рис. 4. Зависимости найденной величины перемещения V_3 от числа шагов разбиения нагрузки

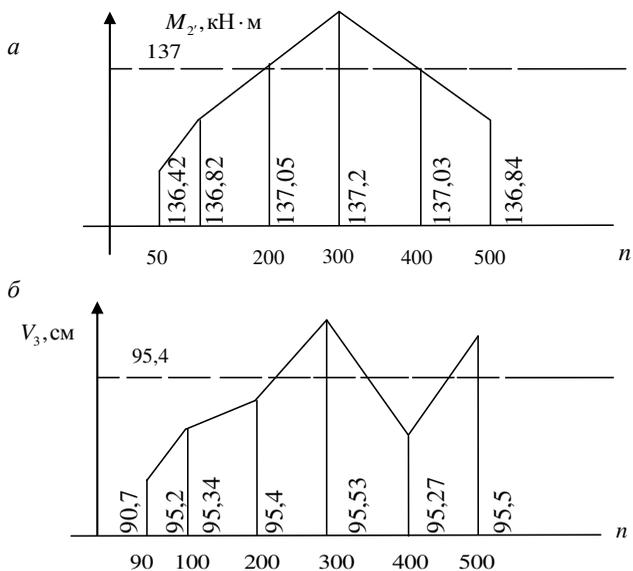


Рис. 5. Зависимости для параметров НДС при значительном увеличении числа шагов разбиения нагрузки

Следует заметить, что при приближении значения параметра нагрузки к критическому (чего нет в этом примере) процесс расчета расходится.

Результаты сравнения линейного расчета по программе SCAD и расчета по деформированной схеме МКЭ (ДС МКЭ) приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчетов гибкой мачты

Параметры НДС	Алгоритмы расчета		Погрешность линейного расчета
	Линейный расчет по SCAD	Нелинейный расчет по ДС МКЭ	
V_3 , м	0,769	0,954	24
M_2 , кН·м	108,1	135,97	25,8

Сравнительный анализ результатов расчетов с использованием различных алгоритмов и программных модулей

Приведенные на рис. 4, рис. 5 и в табл. 1 результаты расчетов иллюстрируют, с одной стороны, достоверность и эффективность разработанного алгоритма и авторского программного модуля RASHET.DS и, с другой стороны, свидетельствуют о существенном влиянии учета перемещений узлов системы на результаты расчетов. Рассмотренный вариант мачты является гибким стержнем. Для дальнейшего сравнительного анализа рассмотрим вариант более жесткой мачты:

$$H = 60 \text{ м}; b_r = 18 \text{ м};$$

$$a_1 = a_2 = 1,0 \text{ м}; t_1 = t_2 = 0,01 \text{ м}.$$

В табл. 2, 3 приведены некоторые результаты расчетов более жесткого варианта мачты с помощью разработанного аналитического алгоритма, численного алгоритма расчета по деформированной схеме МКЭ, нелинейного расчета по программе ANSYS и линейного расчета по программе SCAD. Расчеты проводились при действии расчетных нагрузок (табл. 2) и нагрузок, увеличенных в 1,5 раза (табл. 3).

Таблица 2

Результаты расчетов при расчетных нагрузках ($k_p = 1$)

Параметры НДС	Алгоритмы расчета мачты			
	Аналитический расчет	Численный расчет по ДС МКЭ	Нелинейный расчет по ANSYS	Линейный расчет по SCAD
V_2 , м	0,263	0,2406	0,2470	0,2365
V_3 , м	0,4799	0,4385	0,4508	0,4305
M_1 , кН·м	731,06	683,5	693,1	677,5
M_2 , кН·м	162,0	157,7	162,4	153,6
N_p , кН	38,3	38,92	39,84	38,35

Таблица 3

Результаты расчетов при предельных нагрузках ($k_p = 1,5$)

Параметры НДС	Алгоритмы расчета мачты			
	Аналитический расчет	Численный расчет по ДС МКЭ	Нелинейный расчет по ANSYS	Линейный расчет по SCAD
V_2 , м	0,4203	0,3647	0,342	0,3559
V_3 , м	0,767	0,6653	0,6376	0,6476
M_1 , кН·м	1149,07	1033,0	1032,4	1019
M_2 , кН·м	251,81	239,4	238,7	230,4
N_p , кН	57,5	58,9	57,3	57,6

Анализируя результаты, приведенные в табл. 2, 3, отметим следующее.

Эффект продольно-поперечного изгиба сказывается в жесткой мачте в значительно меньшей степени. Погрешность линейного расчета по SCAD составляет 7,32 % по усилиям и 10,29 % по перемещениям в сравнении с аналитическим алгоритмом расчета. При увеличении нагрузки в 1,5 раза усилия и перемещения в аналитическом расчете увеличились в 1,59 раза, что показывает нарастание параметров НДС по сравнению с линейной зависимостью на 6 %.

Аналитические расчеты рассмотренной ранее гибкой мачты при увеличении нагрузки показали лавинное нарастание значений параметров НДС при приближении параметра нагрузки k_p к величине 1,3. Это свидетельствует о том, что величина параметра k_p для данного варианта мачты близка к критической (соответствует потере устойчивости мачты).

Заключение

К основным результатам проведенного исследования можно отнести следующие.

1. Разработан алгоритм аналитического расчета конструкций рассматриваемого вида, учитывающий особенности, которые накладываются на продольно-поперечный изгиб мачт вследствие наличия тросовых растяжек.

2. Предложен пошаговый алгоритм нелинейного расчета мачт по деформированной схеме на основе МКЭ. Исследован вопрос сходимости предложенного алгоритма. Показано, что предложенный алгоритм сходится за 30–40 итераций.

3. Разработаны программные модули, реализующие предложенные алгоритмы расчета. Рассмотрены примеры расчета мачт различной гибкости с использованием разработанных программных модулей и существующих программных комплексов. На основе сравнительного анализа результатов расчетов показаны достоверность и эффективность разработанных программных модулей.

4. Показана возможность достоверной оценки прочности, жесткости и устойчивости мачтовых конструкций с растяжками при постановке и решении соответствующих задач оптимизации.

Список литературы

1. *Броверман, Г. Б.* Строительство мачтовых и башенных сооружений. – Москва : Стройиздат, 1984. – 256 с.
2. *Гордеев, В. Н.* Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / под ред. А. В. Перельмутера. – Москва : АСВ, 2007. – 482 с.
3. *Дарков, А. В., Шапошников, Н. Н.* Строительная механика. – Москва : Высшая школа, 1986. – 607 с.

4. *Розин, Л. А.* Стержневые системы как системы конечных элементов. – Ленинград : ЛГУ, 1975. – 237 с.
5. *Гребенюк, Г. И., Валиев, Ф. С.* Сопротивление материалов. Основы теории и примеры решения задач : учеб. пособие. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2006. – Ч. 2. – 132 с.
6. *Коробко, В. И., Коробко, А. В.* Строительная механика стержневых систем. – Москва : АСВ, 2007. – 510 с.
7. *Методика* расчета мачт на оттяжках (статика, динамика, устойчивость). – Киев : УкрНИИпроектстальконструкция, 1999. – 336 с.
8. *Лукьянова, В. И., Светлицкий, В. А.* Нелинейные задачи абсолютно гибких стержней // Расчеты на прочность. – 1985. – Вып. 26. – С. 196–204.
9. *Холькин, С. А.* О решении конструктивно нелинейных задач наследственного типа // Строительство-2002 : материалы международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону : РГСУ, 2002. – 485 с.
10. *СНиП 2.01.07-85**. Нагрузки и воздействия / Госстрой СССР. – Москва : ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 36 с.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ НАПОЛНЕНИЯ (ОПОРОЖНЕНИЯ) КАМЕРЫ ШЛЮЗА ПРИ РАБОТЕ В ШТАТНОМ РЕЖИМЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Е.Н. Гусельникова^{*}, П.А. Гимгин^{}**

Проведено моделирование процесса наполнения камеры шлюза и сравнение гидравлических характеристик, полученных экспериментальным путем и расчетным.

Ключевые слова: гидродинамическая сила, условия стоянки судна, моделирование, критерий Фруда.

Введение

Особенностью Сибири и Якутии является недостаточное развитие транспортного комплекса и всех его составляющих. Альтернативой железным дорогам на севере региона может стать дальнейшее развитие внутреннего водного транспорта. Для развития экономики и жизнеобеспечения населения Северо-Восточного региона России необходима хорошо организованная работа всех видов транспорта, включая речной транспорт по внутренним водным путям и морской по Северному Ледовитому океану [1].

Условия стоянки расчетного судна

При наполнении камер шлюзов в них создается неустановившийся характер движения воды со значительными уклонами, скоростями течения и водоворотами. Особенно большие скорости течения возникают, если наполнение камеры происходит из-под затвора на верхней голове. В начале наполнения в камере создается продольный уклон поверхности воды от верхней головы к нижней. Вследствие этого возникает сила гидродинами-

^{*} Канд. техн. наук, доцент кафедры гидротехнического строительства, безопасности и экологии НГАСУ (Сибстрин)

^{**} Магистрант кафедры гидротехнического строительства, безопасности и экологии НГАСУ (Сибстрин)

ческого давления. Она создает наибольшие затруднения для стоянки судов. Это связано с неэффективной работой гасительных устройств, неравномерным распределением расхода по выпускам, большими скоростями течения воды в камере и их распределением по глубине потока.

Величина полной продольной гидродинамической силы может быть представлена в виде суммы составляющих [2]:

$$P = P_B + P_T + P_M, \quad (1)$$

где P_B – волновая составляющая силы, связанная с пробегом длинных волн в камере шлюза; P_T – составляющая силы, обусловленная скоростями течения воды в камере; P_M – местная составляющая силы, обусловленная неравномерностью распределения скоростей течения потока по глубине.

Оценка обеспечения безопасных условий стоянки расчетного судна выполняется путем определения величины $(F_l)_{\max}$ – первого пика волновой составляющей гидродинамической силы, и сравнения ее с допускаемой величиной F_l , кН [3].

Величину $(F_l)_{\max}$, кН, рекомендуется определять по приближенной формуле А.В. Михайлова:

$$(F_l)_{\max} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \cdot \frac{D \cdot \varepsilon}{g \cdot (\Omega_k - \chi)}, \quad (2)$$

где $\frac{\Delta Q}{\Delta t}$ – наибольшее приращение расхода воды по времени за период первого пробега волны наполнения от носовой оконечности судна до кормовой, принимается приращение расхода за первые 30 с наполнения.

Если условие безопасной стоянки судна не выполняется, то необходимо отношение $\Delta Q/\Delta t$ уменьшить за счет сокращения величины расхода в начальный период. Для этого нужно изменить скорость подъема затвора.

Цель работы

Определение оптимального режима наполнения камеры шлюза с головной системой питания при обязательном выполнении двух условий:

- обеспечении безопасных условий стоянки расчетного судна в камере при наполнении (опорожнении);
- обеспечении оптимальной скорости наполнения камеры шлюза за счет скорости подъема затвора.

Моделирование

Для эффективного исследования наполнения камеры шлюза был выбран экспериментальный путь исследования. Работы производились в гидротехнической лаборатории НГАСУ (Сибстрин) на лабораторной установке. Установка представляет из себя лоток, разделенный порогом на верхний и нижний бьефы. Над порогом установлен плоский затвор. Этот затвор работает с помощью плечевого механизма, который поднимает затвор или опускает. В конце лотка установлен затвор, ограничивающий камеру. Таким образом, два затвора моделируют камеру шлюза. Порог с затвором имитирует верхнюю голову шлюза. Высота стенки падения составила 30 см (см. рисунок).

Подача воды в верхний бьеф осуществлялась из кольцевого водопровода лаборатории. Опорожнение камеры выполнялось путем опускания нижнего затвора, расположенного в конце камеры шлюза и моделирующего средние ворота шлюза. Лоток имеет длину 5 м и высоту борта 0,62 м, ширину 0,21 м. Длина камеры от верхнего затвора до нижнего составляет 2,85 м.

Экспериментальные лабораторные исследования проводились для решения следующих основных задач:

- выбор оптимального режима наполнения камеры по условиям обеспечения благоприятного режима стоянки судна при традиционной схеме наполнения;
- построение основных гидравлических характеристик систем наполнения при оптимальном режиме, когда максимальная гидродинамическая сила, воздействующая на находящееся в камере судно, не превосходила бы допускаемой.

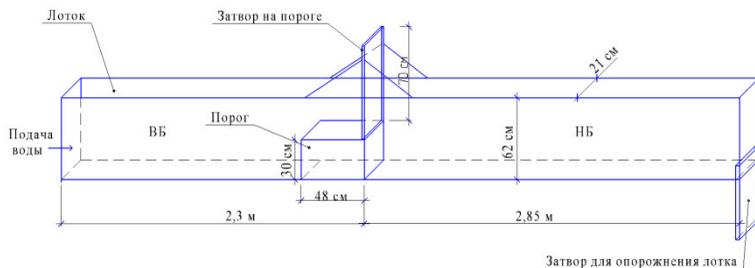


Схема лотка и его элементов

Благоприятный режим стоянки судна возможен лишь при условии выполнения неравенства гидродинамической силы ее допускаемой величине. Поскольку в первые секунды наполнения приращение расхода воды наибольшее, то первый промежуток представляет наибольший интерес в расчетном отношении. Для определения расхода необходимо иметь точное значение коэффициента расхода. Зная необходимый коэффициент расхода, можно добиться выполнения неравенства гидродинамической силы.

Во время эксперимента с использованием цифровой техники одновременно фиксировалось поднятие затвора и изменение уровня воды в камере. Поднятие затвора осуществлялось с помощью плечевого механизма и ручного инструмента с максимальным увеличением плавности хода поднятия затвора.

Описание расчета

Гидравлические характеристики системы наполнения судового шлюза могут быть получены в результате совместного решения уравнений

истечения жидкости из отверстий:

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gh} \quad (3)$$

и неразрывности:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{Q}{\Omega} \quad (4)$$

Сначала задавалось время t , за которое проходит первый промежуток для установки, одновременно с записью времени

наполнения. Определялась высота поднятия затвора h_3 за это время. После этого снимались значения приращения уровня воды НБ в соответствии с поднятием затвора [4, 5].

Объем воды в камере

$$W = b \cdot l \cdot \Delta S . \quad (5)$$

Тогда расход

$$Q = \frac{W}{t} . \quad (6)$$

Определяем коэффициент расхода

$$\mu = \frac{Q}{\omega \sqrt{2gh}} , \quad (7)$$

где ω – площадь водопропускного отверстия:

$$\omega = b \cdot h_3 ; \quad (8)$$

h – расчетный напор воды, действующий на проточный тракт системы наполнения:

$$h = ВБ - ПВГ - h_3 . \quad (9)$$

Гидравлические расчеты для модельной установки

В результате проведения эксперимента были получены данные для построения гидравлических характеристик.

1 эксперимент

Исходные данные: высота подъема затвора 3,8 см; $УВБ = 32$ см; $УНБ = 11,8$ см; глубина на пороге $hl = 8$ см, расчетный напор $Hd = 24$ см (табл. 1).

Таблица 1

t, c	$h_3, м$	$dS, м$	$W, м^3$	$Q, м^3/c$	μ	$y, м$	$H_3, м$	$h, м$
0	0	0	0	0	0	0	0,08	0,24
2	0,01	0,001	0,00059	0,000295	0,11986	0,081	0,07	0,239
4	0,02	0,005	0,00295	0,001475	0,32368	0,086	0,06	0,235
6	0,03	0,01	0,0059	0,00295	0,47276	0,096	0,05	0,23
8	0,038	0,015	0,00885	0,004425	0,61085	0,111	0,042	0,225

2 эксперимент

Исходные данные: высота подъема затвора 3,6 см; $УВБ = 34$ см; $УНБ = 13$ см; глубина на пороге $hl = 10$ см, расчетный напор $Hd = 24$ см (табл. 2).

Таблица 2

t, c	$h_3, м$	$dS, м$	$W, м^3$	$Q, м^3/с$	μ	$y, м$	$H_3, м$	$h, м$
0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,24
2	0,005	0,0006	0,00035	0,000177	0,12347	0,100	0,095	0,239
4	0,01	0,004	0,0023	0,00118	0,42285	0,104	0,09	0,236
6	0,02	0,008	0,0047	0,00236	0,44850	0,112	0,08	0,232
8	0,036	0,018	0,0106	0,00531	0,62680	0,130	0,064	0,222

3 эксперимент

Исходные данные: высота подъема затвора 4,5 см; $УВБ = 34,5$ см; $УНБ = 14$ см; глубина на пороге $hl = 10,5$ см, расчетный напор $Hd = 24$ см (табл. 3).

Таблица 3

t, c	$h_3, м$	$dS, м$	$W, м^3$	$Q, м^3/с$	μ	$y, м$	$H_3, м$	$h, м$
0	0	0	0	0	0	0	0,105	0,24
2	0,005	0,001	0,00059	0,000295	0,20057	0,106	0,1	0,239
4	0,015	0,005	0,00295	0,001475	0,35238	0,111	0,09	0,235
6	0,025	0,01	0,0059	0,00295	0,44850	0,121	0,08	0,23
8	0,045	0,02	0,0118	0,0059	0,57543	0,141	0,06	0,22

Расчет гидравлических характеристик

Для тех же условий гидравлические характеристики были получены в результате расчетов по формулам А.В. Михайлова.

1 эксперимент

Исходные данные: высота подъема затвора 3,8 см; $УВБ = 32$ см; $УНБ = 11,8$ см; глубина на пороге $hl = 8$ см, расчетный напор $Hd = 24$ см (табл. 4).

Таблица 4

t, c	h_3, m	H_3, m	$Q, m^3/c$	dy, m	hc, m	h, m	y, m	$Vk, m/c$
0	0	0,08	0	0	0	0,24	0	0
2	0,01	0,07	0,0004188	0,0007	0,0007	0,2392	0,0007	0,0007
4	0,02	0,06	0,0015525	0,0033	0,0040	0,2359	0,0040	0,00263
6	0,03	0,05	0,0033152	0,0082	0,0123	0,2276	0,0123	0,00561
8	0,038	0,042	0,0053825	0,0147	0,0270	0,2129	0,0270	0,00912

2 эксперимент

Исходные данные: высота подъема затвора 3,6 см; $УВБ = 34$ см; $УНБ = 13$ см; глубина на пороге $hl = 10$ см, расчетный напор $Hd = 24$ см (табл. 5).

Таблица 5

t, c	h_3, m	H_3, m	$Q, m^3/c$	dy, m	hc, m	h, m	y, m	$Vk, m/c$
0	0	0,1	0	0	0	0,24	0	0
2	0,005	0,09	0,000254	0,0004	0,0004	0,239	0,0004	0,0004
4	0,01	0,09	0,000934	0,0020	0,0024	0,2375	0,0024	0,0015
6	0,02	0,08	0,0026288	0,0060	0,0084	0,23151	0,0084	0,0044
8	0,036	0,06	0,005912	0,0144	0,0229	0,2170	0,0229	0,0100

3 эксперимент

Исходные данные: высота подъема затвора 4,5 см; $УВБ = 34,5$ см; $УНБ = 14$ см; глубина на пороге $hl = 10,5$ см, расчетный напор $Hd = 24$ см (табл. 6).

Таблица 6

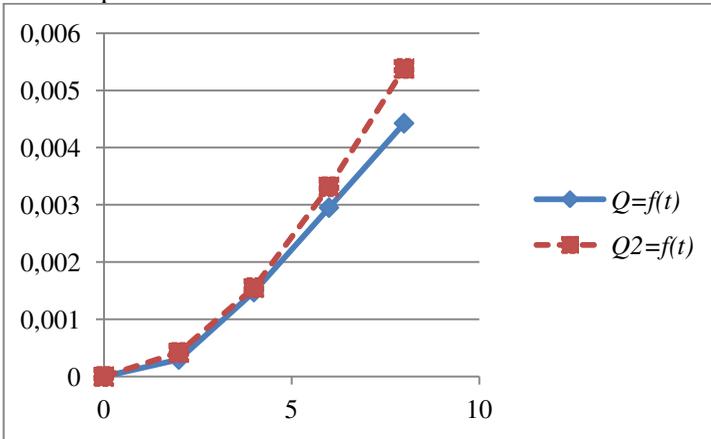
t, c	h_3, m	H_3, m	$Q, m^3/c$	dy, m	hc, m	h, m	y, m	$Vk, m/c$
0	0	0,105	0	0	0	0,24	0	0
2	0,005	0,1	0,000269	0,0004	0,0004	0,23954	0,0004	0,0004
4	0,015	0,09	0,001402	0,0028	0,0032	0,2367	0,0032	0,0023
6	0,025	0,08	0,003330	0,0080	0,0113	0,2286	0,0113	0,0056
8	0,045	0,06	0,007405	0,0181	0,0295	0,2104	0,0290	0,0125

Гидравлические характеристики

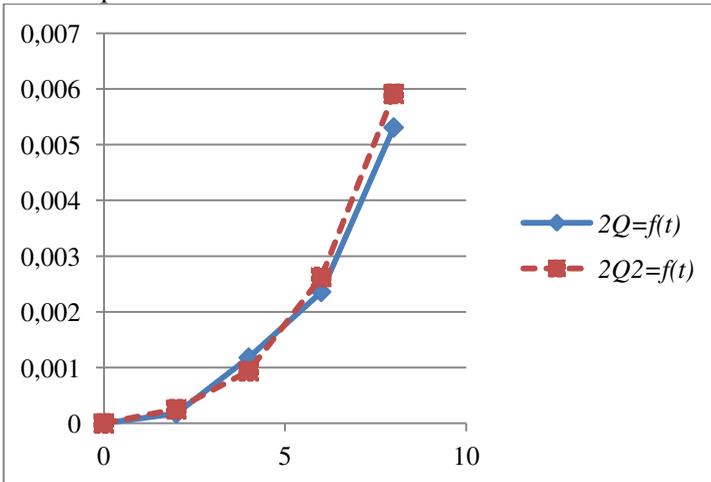
Гидравлические характеристики, полученные экспериментальным путем (сплошная линия) и расчетным (штрихпунктирная линия), имеют следующий вид:

Гидравлическая характеристика $Q = f(t)$

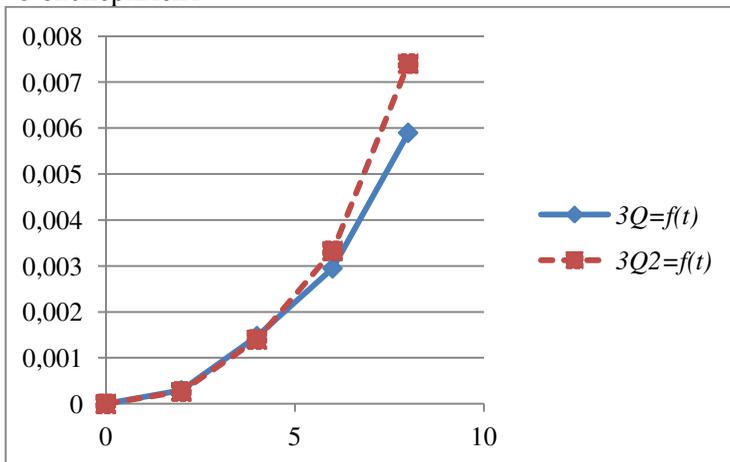
1 эксперимент



2 эксперимент

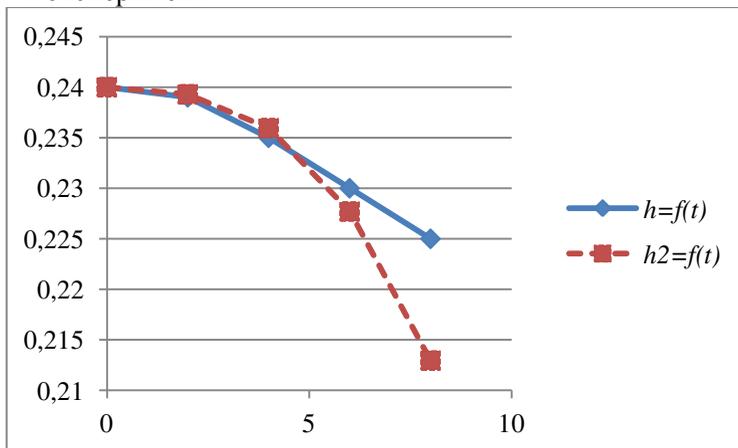


3 эксперимент

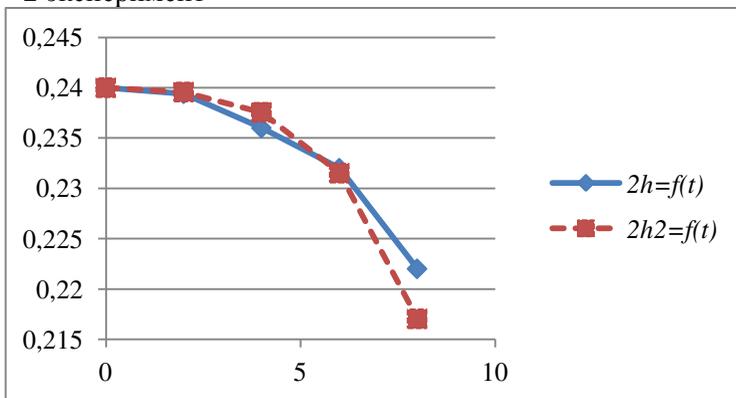


Гидравлическая характеристика $h = f(t)$

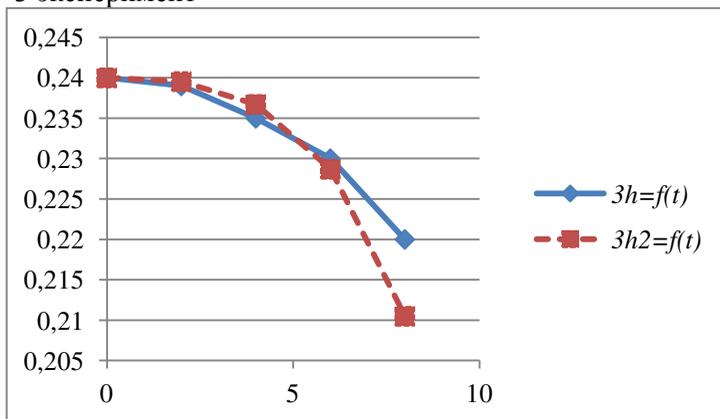
1 эксперимент



2 эксперимент



3 эксперимент



Сравнение показало, что характеристики, полученные экспериментальным путем и расчетным, имеют достаточную сходимость.

Моделирование проводилось по критерию Фруда:

$$Fr = \frac{U^2}{gh}. \quad (10)$$

При условии выполнения равенства $Fr_n \equiv Fr_m$, получаем равенство коэффициентов расхода $\mu_m = \mu_n$, тогда при выполнении

расчетов можно воспользоваться графиком, построенным по данным эксперимента. Тогда, при наличии зависимости высоты затвора от времени, имеем зависимость коэффициента расхода от степени открытия затвора, что необходимо при определении величины расхода.

Выводы

Гидравлическая характеристика $\mu = f(t)$, зависящая от особенностей конструкции системы наполнения камеры судоходного шлюза, геометрии системы подачи воды, конфигурации затворов наполнения, очертания элементов, образующих водопропускные отверстия, определяет изменение во времени величины расхода $Q = f(t)$. Тогда расход зависит от коэффициента расхода $Q = f(\mu)$. При его подборе можно добиться того, чтобы выполнялось условие удовлетворительной стоянки расчетного судна.

Для обеспечения выполнения условия $(FI)_{\max} \leq [FI]$ необходимо, чтобы расход в первые интервалы времени был минимальным. Можно уменьшить расход за счет изменения скорости подъема затвора.

Список литературы

1. *Клишин, И. В.* Оградительные дамбы и подводные трубопроводы на внутренних водных путях Сибири и Якутии. – Новосибирск : НГАВТ, 2009. – 247 с.
2. *Семанов, Н. А.* [и др.]. Судоходные каналы, шлюзы и судоподъемники. – Ленинград : Транспорт, 1970. – 352 с.
3. *Михайлов, А. В.* Внутренние водные пути. – Москва : Стройиздат, 1973. – 328 с.
4. *Рябов, Г. Г., Ушакевич, А. Н., Смирнов, Р. С.* Моделирование процесса наполнения камеры судоходного шлюза с учетом данных натурных наблюдений // Вестник ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова. – 2017. – № 5 (45). – С. 993–1006.
5. *Ганеев, А. М.* Совершенствование эксплуатационных качеств судоходных шлюзов с головной системой питания : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Санкт-Петербург : СПбГУВК, 1999. – 42 с.

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОТМЕТОК ОГОЛОВКОВ ТУМБ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОННЫХ ТАХЕОМЕТРОВ И НИВЕЛИРА

А.А. Караваяв* , Л.Г. Петрова* , Д.О. Григорьев**

Рассматривается определение отметок оголовков тумб с помощью электронных тахеометров 3Та5Р, Trimble МЗ и нивелира 3Н-5Л. Также представлена оценка точности по разностям двойных равноточных измерений.

Ключевые слова: отметки оголовков тумб, электронный тахеометр, нивелир, оценка точности.

Введение

В связи с внесением изменений в рабочие программы дисциплин «Геодезия», «Инженерная геодезия» и «Основы практической геодезии» на кафедре инженерной геодезии будет введена лабораторная работа «Изучение электронных тахеометров». Поэтому на кафедре было принято решение подготовить лабораторию для проведения занятий по изучению данных приборов, в частности, определить отметки оголовков тумб.

Методика исследований

Определение отметок оголовков тумб было выполнено с помощью электронных тахеометров 3Та5Р (рис. 1) [3], Trimble МЗ (рис. 2) [4] и нивелира 3Н-5Л (рис. 3) [5] двумя приемами способом из середины [1].

Нивелирование с использованием электронных тахеометров выполнялось следующим образом (рис. 4). Электронный тахеометр устанавливают между стенным репером и тумбой, а затем приводят его в рабочее положение. Установив отражатель на стенной репер, наводят зрительную трубу на призму и берут

* Ст. преподаватель кафедры инженерной геодезии НГАСУ (Сибстрин)

** Ст. лаборант кафедры инженерной геодезии НГАСУ (Сибстрин)

отсчет a . Далее отражатель ставят на оголовок тумбы и берут отсчет b .



Рис. 1. Электронный тахеометр 3Та5Р



Рис. 2. Электронный тахеометр Trimble M3



Рис. 3. Нивелир 3Н-5Л

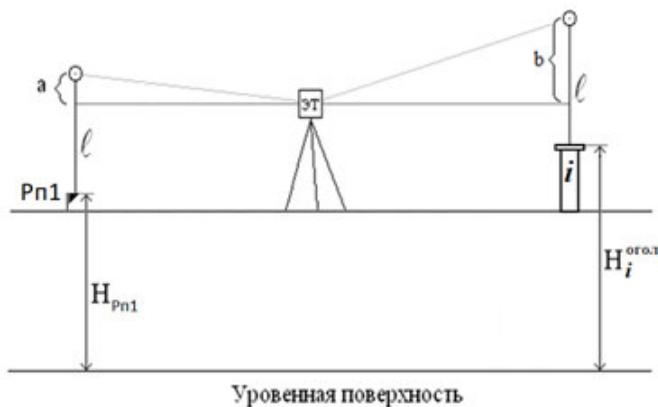


Рис. 4. Нивелирование с помощью электронного тахеометра

Отметки оголовков тумб определяются по формуле

$$H_i = H_{Pn1} + l - a + b - l = H_{Pn1} + b - a, \quad (1)$$

где H_{Pn1} – отметка репера 1; l – высота отражателя.

Результаты расчетов

Сначала нивелирование было выполнено с использованием электронных тахеометров 3Та5Р и Trimble М3, а затем с помощью нивелира 3Н-5Л. В результате измерений были определены отметки оголовков тумб, которые представлены в табл. 1–3. $H_{pн1}$ была принята равной 100,000 м.

Таблица 1

Определение отметок электронным тахеометром 3Та5Р

№ тумбы	Отметки оголовков тумб H_i , м	
	1 прием	2 прием
1	100,554	100,551
2	100,523	100,526
3	100,527	100,526
4	100,519	100,526
5	100,519	100,521
6	100,530	100,529
7	100,520	100,518
8	100,513	100,509
9	100,513	100,514
10	100,514	100,512
11	100,524	100,523
12	100,505	100,505

Таблица 2

Определение отметок электронным тахеометром Trimble М3

№ тумбы	Отметки оголовков тумб H_i , м	
	1 прием	2 прием
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
1	100,554	100,549
2	100,527	100,526
3	100,527	100,525
4	100,525	100,527
5	100,523	100,518

Окончание табл. 2

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
6	100,525	100,525
7	100,520	100,517
8	100,514	100,512
9	100,510	100,510
10	100,509	100,510
11	100,523	100,522
12	100,505	100,501

Таблица 3

Определение отметок нивелиром 3Н-5Л

№ тумбы	Отметки оголовков тумб H_i , м	
	1 прием	2 прием
1	100,555	100,555
2	100,525	100,526
3	100,524	100,524
4	100,525	100,525
5	100,518	100,517
6	100,526	100,526
7	100,517	100,516
8	100,509	100,510
9	100,511	100,512
10	100,512	100,510
11	100,520	100,521
12	100,503	100,504

По результатам измерений была выполнена оценка точности по разностям двойных равноточных измерений превышений h_i , представленная в табл. 4–6. Превышение h_i находится по формуле

$$h_i = H_i - H_{Pn1}, \quad (2)$$

где H_i – отметка оголовка тумбы.

Таблица 4

Оценка точности (оголовки тумб, 3Та5Р)

№ измерения	Превышения h_i , м		d_i , мм	d_i^2 , мм ²
	1 прием	2 прием		
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
1	+0,554	+0,551	+3	9
2	+0,523	+0,526	-3	9
3	+0,527	+0,526	+1	1
4	+0,519	+0,526	-7	49
5	+0,519	+0,521	-2	4
6	+0,530	+0,529	+1	1
7	+0,520	+0,518	+2	4
8	+0,513	+0,509	+4	16
9	+0,513	+0,514	-1	1
10	+0,514	+0,512	+2	4
11	+0,524	+0,523	+1	1
12	+0,505	+0,505	0	0
			$\Sigma+1$	$\Sigma 99$

Таблица 5

Оценка точности (оголовки тумб, Trimble M3)

№ измерения	Превышения h_i , м		d_i , мм	d_i^2 , мм ²
	1 прием	2 прием		
1	+0,554	+0,549	+5	25
2	+0,527	+0,526	+1	1
3	+0,527	+0,525	+2	4
4	+0,525	+0,527	-2	4
5	+0,523	+0,518	+5	25
6	+0,525	+0,525	0	0
7	+0,520	+0,517	+3	9
8	+0,514	+0,512	+2	4
9	+0,510	+0,510	0	0
10	+0,509	+0,510	-1	1
11	+0,523	+0,522	+1	1
12	+0,505	+0,501	+4	16
			$\Sigma +20$	$\Sigma 90$

Таблица 6

Оценка точности (оголовки тумб, ЗН-5Л)

№ измерения	Превышения h_i , м		d_i , мм	d_i^2 , мм ²
	1 прием	2 прием		
1	+0,555	+0,555	0	0
2	+0,525	+0,526	-1	1
3	+0,524	+0,524	0	0
4	+0,525	+0,525	0	0
5	+0,518	+0,517	+1	1
6	+0,526	+0,526	0	0
7	+0,517	+0,516	+1	1
8	+0,509	+0,510	-1	1
9	+0,511	+0,512	-1	1
10	+0,512	+0,510	+2	4
11	+0,520	+0,521	-1	1
12	+0,503	+0,504	-1	1
			$\sum -1$	$\sum 11$

Средняя квадратическая ошибка (СКО) разности двойных равноточных измерений [2] вычисляется по формуле

$$m_d = \sqrt{\frac{\sum d^2}{n}}, \quad (3)$$

где d – разность двойных равноточных измерений; n – число измерений.

СКО одного измерения любой из величин h_i [2] определяется по формуле

$$m_h = \sqrt{\frac{\sum d^2}{2n}}. \quad (4)$$

Значения m_d и m_h представлены в табл. 7.

Таблица 7

Значения m_d и m_h

Прибор	СКО	
	m_d , мм	m_h , мм
3Та5Р	2,9	2,0
Trimble МЗ	2,7	1,9
ЗН-5Л	1,0	0,7

Формула (4) справедлива в том случае, если ряд ($d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$) представляет собой случайные ошибки. Если же этот ряд имеет еще и систематические ошибки, то их нужно предварительно исключить. Систематическая ошибка θ одной разности двух равноточных измерений [2] находится по формуле

$$\theta = \frac{\sum d}{n}. \quad (5)$$

Критерием допустимости систематической ошибки θ является неравенство:

$$|\sum d| \leq 0,25 \cdot \sum |d|. \quad (6)$$

Значения неравенств представлены в табл. 8.

Таблица 8

Значения неравенств

Приборы	Неравенство $ \sum d \leq 0,25 \cdot \sum d $
3Та5Р	$1 < 6,75$
Trimble МЗ	$20 > 6,50$
ЗН-5Л	$1 < 2,25$

Для электронного тахеометра Trimble МЗ неравенство не соблюдается, тогда следует вычислить d_i' по формуле

$$d_i' = d_i - \theta. \quad (7)$$

Вычисления для электронного тахеометра Trimble МЗ представлены в табл. 9 ($\theta = +2$ мм).

Таблица 9

Оценка точности (оголовки тумб, Trimble M3)

№ измерения	Превышения h , м		d_i , мм	d_i' , мм	$d_i'^2$, мм
	1 прием	2 прием			
1	+0,554	+0,549	+5	+3	9
2	+0,527	+0,526	+1	-1	1
3	+0,527	+0,525	+2	0	0
4	+0,525	+0,527	-2	-4	16
5	+0,523	+0,518	+5	+3	9
6	+0,525	+0,525	0	-2	4
7	+0,520	+0,517	+3	+1	1
8	+0,514	+0,512	+2	0	0
9	+0,510	+0,510	0	-2	4
10	+0,509	+0,510	-1	-3	9
11	+0,523	+0,522	+1	-1	1
12	+0,505	+0,501	+4	+2	4
			$\Sigma +20$	$\Sigma 4$	$\Sigma 58$

СКО разности двойных равноточных измерений [2] для электронного тахеометра Trimble M3 вычисляется по формуле

$$m_d = \sqrt{\frac{\sum d'^2}{n-1}}, \quad (8)$$

где d' – разность двойных равноточных измерений, из которой исключена систематическая ошибка θ .

СКО одного измерения любой из величин h_i [2] для электронного тахеометра Trimble M3 определяется по формуле

$$m_h = \sqrt{\frac{\sum d'^2}{2 \cdot (n-1)}}. \quad (9)$$

В формулах (8) и (9) в знаменателе поставлено не n , а $n-1$, так как величины $(d_1', d_2', d_3', \dots, d_n')$ представляют собой уже не истинные ошибки, а лишь вероятнейшие ошибки [2].

Значения m_d и m_h , которые для электронного тахеометра 3Та5Р и нивелира 3Н-5Л остались прежними, представлены в табл. 10.

Значения m_d и m_h

Прибор	СКО	
	m_d , мм	m_h , мм
3Та5Р	2,9	2,0
Trimble М3	2,3	1,6
3Н-5Л	1,0	0,7

Заключение

Таким образом, точность определения отметок оголовков тумб с использованием нивелира 3Н-5Л получилась выше, чем с применением электронных тахеометров 3Та5Р и Trimble М3. При проведении оценки точности для электронного тахеометра Trimble М3 пришлось исключить систематические ошибки. Все приведенные приборы можно использовать для данных измерений.

Список литературы

1. *Михайлов, А. Ю.* Инженерная геодезия в вопросах и ответах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/51720.html>
2. *Нестеренок, М. С.* Геодезия [Электронный ресурс]: учеб. пособие. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/20208.html>
3. *Тахеометр* электронный 3Та5Р: руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ugtholding.com/d/694090/d/3ta5_instruksiya.pdf (дата обращения: 06.05.2018).
4. *Электронный тахеометр* Trimble М3: руководство пользователя [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://idealtach.ru/images/instrukcii/trimble/manual_trimble_m3%20\(idealtach.ru\).pdf](http://idealtach.ru/images/instrukcii/trimble/manual_trimble_m3%20(idealtach.ru).pdf) (дата обращения: 06.05.2018).
5. *Нивелир* 3Н-5Л (3Н-5): паспорт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://yardoptic.ru/sites/default/files/imce/h_13ce8b5b5248a17ebd9190baf72c4c5e.pdf (дата обращения: 06.05.2018).

ОБОСНОВАНИЕ РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ РАЗДЕЛЬНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ СТАНЦИИ ЗАКРЫТОГО ТИПА МЕТРОПОЛИТЕНА МЕЛКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ С ДВУХПУТНЫМ ТОННЕЛЕМ

Л.А. Кияница^{*}, И.В. Лугин^{}**

Для станции закрытого типа метрополитена с двухпутным тоннелем определены суммарные тепловыделения в зависимости от глубины заложения и времени года; определены зависимости распределения тепловыделений от подвижного состава по длине линии метрополитена. Для установившегося и начального режимов эксплуатации станции закрытого типа выявлены закономерности изменения теплового потока в грунт в зависимости от глубины заложения станции, теплофизических характеристик грунтов и климатического района строительства. Выявлены зависимости теплообмена между путевым отсеком и помещением пассажирской платформы через разделительную перегородку станции. Определен расчетный воздухообмен для пассажирских помещений в зависимости от глубины заложения и допустимый диапазон доли рециркуляции, %, от общего воздухообмена в зависимости от глубины заложения. В статье представлена схема раздельной системы вентиляции, обоснованы ее режимы работы и требования к вентиляционному оборудованию.

Ключевые слова: метрополитен, станция закрытого типа, вентиляция, теплообмен.

Введение, цель работы, методы исследования

Современные тенденции строительства метрополитенов заключаются в возведении станций закрытого типа и двухпутных тоннелей преимущественно мелкого заложения с использованием как открытого, так и закрытого способа работ [1–3]. Для обеспечения комфортного пребывания пассажиров и персонала в сооружениях метрополитена предусматривается система вентиляции станций и тоннелей. Ее основная цель – поддержание

^{*} Аспирант, инженер лаборатории рудничной аэродинамики ИГД СО РАН

^{**} Канд. техн. наук, доцент, ст. научный сотрудник лаборатории рудничной аэродинамики ИГД СО РАН

нормативных параметров микроклимата в помещениях метрополитена [4, 5]. Существующие на данный момент методики проектирования вентиляции станций метрополитена разрабатывались для станций открытого типа, конструкция которых не предусматривает изоляцию внутренних воздушных контуров станции и двухпутного тоннеля. В связи с этим такие методики требуют уточнения. Также появляется необходимость в разработке новых схем вентиляции станций закрытого типа и двухпутных тоннелей, обеспечивающих требуемый воздухообмен в тоннеле и на станции в штатных и аварийных режимах.

Целью работы является: а) уточнение требований к параметрам работы системы вентиляции и воздухообменов на станции закрытого типа; б) разработка схемы раздельной вентиляции метрополитена с двухпутным тоннелем и станциями закрытого типа для работы в штатных и аварийных ситуациях.

Исследования параметров микроклимата в подземных сооружениях метрополитенов с двухпутными тоннелями и станциями закрытого типа показали, что требуемый воздухообмен и нормативные параметры микроклимата в пассажирских помещениях станций и в тоннелях существенно различаются [6]. Поэтому необходимо применять схемы с раздельным проветриванием пассажирских помещений и тоннелей.

Исследование аэротермодинамических параметров воздуха в помещениях станции закрытого типа проведены: а) в объеме отдельных станционных помещений – методами вычислительной аэрогидродинамики и теплообмена (метод конечных элементов и конечных объемов); б) для моделирования вентиляционной сети станции закрытого типа в целом со смежными вентиляционными камерами и участками перегонного двухпутного тоннеля – методами теории графов и теории сетей, в частности методом Форда – Фолкерсона [7].

Зависимости распределения теплопоступлений от поездов по длине участка «тоннель – станция»

В работе определены зависимости распределения теплопоступлений от ходовой части поездов по длине по типовому расчетному участку «станция – двухпутный перегонный тоннель»,

на которые разбивается линия метрополитена. Основным источником тепловыделений от ходовой части поездов является блок пуско-тормозных резисторов (ПТР). Способы, которые позволяют определить тепловыделения от ПТР, известны [8, 9]. Для проведения исследований движение поезда по линии метрополитена было разбито на циклы и фазы. Под циклом движения понимался промежуток времени между началом торможения перед станцией до начала торможения перед следующей по ходу движения станцией. Под фазой движения понимается состояние неизменного характера движения поезда, а именно: торможение, стоянка, разгон, движение с крейсерской скоростью.

В общем виде уравнение теплового баланса ПТР для временного интервала $(\tau_2 - \tau_1)$ каждой фазы движения n -го цикла можно записать в виде:

$$\Delta T_n + \Delta I_{nmp} + Q_{nmp}^k + Q_{nmp}^r = 0, \quad (1)$$

где ΔT_n – изменение кинетической энергии поезда с начала торможения до полной остановки, Дж, учитывается только на фазе торможения; ΔI_{nmp} – приращение энтальпии ПТР, Дж; Q_{nmp}^k – количество теплоты, переданное окружающему ПТР воздуху конвекцией, Дж; Q_{nmp}^r – количество теплоты, переданное окружающему ПТР воздуху радиацией, Дж.

В данной модели приняты следующие допущения: 1) движение поезда в тоннеле принимаем равномерным; 2) потерями энергии в блоках ПТР пренебрегаем; 3) теплообмен радиацией не учитываем (доля теплопередачи радиацией составляет не более 5 % [7]). Тогда уравнение (1) запишется в виде:

$$\Delta T_n + \Delta I_{nmp} + Q_{nmp}^k = 0. \quad (2)$$

При раскрытии формул получим значение температуры ПТР в конце временного промежутка $(\tau_2 - \tau_1)$:

– для фазы торможения

$$t_2 = \frac{2 \cdot c_{nmp} \cdot m_{nmp} - \alpha \cdot F_{nmp} \cdot (\tau_2 - \tau_1)}{2 \cdot c_{nmp} \cdot m_{nmp} + \alpha \cdot F_{nmp} \cdot (\tau_2 - \tau_1)} \cdot t_1 + \frac{M_n \cdot (\mathcal{G}_1^2 - \mathcal{G}_2^2) + 2 \cdot \alpha \cdot F_{nmp} \cdot (\tau_2 - \tau_1) \cdot t_0}{2 \cdot c_{nmp} \cdot m_{nmp} + \alpha \cdot F_{nmp} \cdot (\tau_2 - \tau_1)}; \quad (3)$$

– для фазы разгона, стоянки, равномерного движения

$$t_2 = \frac{2 \cdot c_{nmp} \cdot m_{nmp} - \alpha \cdot F_{nmp} \cdot (\tau_2 - \tau_1)}{2 \cdot c_{nmp} \cdot m_{nmp} + \alpha \cdot F_{nmp} \cdot (\tau_2 - \tau_1)} \cdot t_1 + \frac{2 \cdot \alpha \cdot F_{nmp} \cdot (\tau_2 - \tau_1) \cdot t_0}{2 \cdot c_{nmp} \cdot m_{nmp} + \alpha \cdot F_{nmp} \cdot (\tau_2 - \tau_1)}, \quad (4)$$

где $(\tau_2 - \tau_1)$ – промежуток времени (шаг расчета), с, принимается равным 1 с; c_{nmp} – теплоемкость ПТР, Дж/(кг·°C); m_{nmp} – масса ПТР, кг; α – коэффициент конвективной теплоотдачи, средний за временной промежуток $(\tau_2 - \tau_1)$, Дж/(м²·°C); F_{nmp} – площадь поверхности ПТР, м²; t_1 – начальная температура ПТР за промежуток времени $(\tau_2 - \tau_1)$, °C; t_0 – температура воздуха в тоннеле, °C; M_n – масса поезда с пассажирами, кг; \mathcal{G}_1 , \mathcal{G}_2 – начальная и конечная скорости поезда за промежуток времени $(\tau_2 - \tau_1)$.

Тепловой поток от ПТР и температура ПТР от времени движения по участку «станция – тоннель $l = 1$ км» приведены на рис. 1.

Площадь фигуры, ограниченной графиком теплового потока и осью абсцисс, является количеством теплоты (тепловыделением), которое передается от ПТР к окружающему воздуху за время движения. Результаты расчета показывают, что доля тепловыделений в окрестностях станций (торможение, стоянка, разгон) составляет 32,9 % (для тоннеля длиной $l = 1$ км и скорости движения поезда 90 км/ч), а в тоннеле (равномерное движение) – 67,1 %.

Подобные расчеты проведены для тоннелей различной протяженности. Выявлено, что доли тепловыделений в окрестностях станции и в тоннеле от общих на участке зависят от протяженности тоннеля и, соответственно, от времени движения поезда по тоннелю. Для количественной оценки доли тепловыделений введен коэффициент K :

$$K = \frac{\tau_{\text{тоннель}}}{\tau_{\text{тоннель}} + \tau_{\text{торм}} + \tau_{\text{стоянка}} + \tau_{\text{разг}}}, \quad (5)$$

где $\tau_{\text{тоннель}}$ – время движения поезда по тоннелю, с; $\tau_{\text{торм}}$ – время торможения поезда, с; $\tau_{\text{стоянка}}$ – время стоянки поезда, с; $\tau_{\text{разг}}$ – время разгона поезда, с.

Для различных величин коэффициента K определены значения процентной доли тепловыделений в окрестностях станции и в тоннеле (рис. 2).

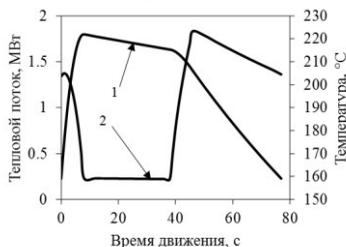


Рис. 1. Тепловой поток и температура ПТР от времени движения при движении поезда по участку «станция – тоннель $l = 1$ км»:
 0...8 с – торможение перед остановкой на станции; 8...38 с – стоянка на станции; 38...46 с – разгон поезда; 46...78 с – движение поезда по тоннелю до момента торможения перед следующей станцией;
 1 – температура, 2 – тепловой поток

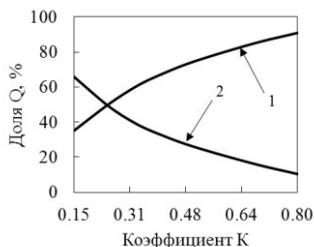


Рис. 2. Доли тепловыделений на станции и в тоннеле в зависимости от значения коэффициента K :
 1 – в тоннеле,
 2 – в окрестностях станции

В результате аппроксимации дискретной зависимости процентных долей от коэффициента K были получены следующие формулы для расчета доли тепловыделений q , %:

– в тоннеле

$$q_m = \frac{K}{0,0032 + 0,0070 \cdot K}; \quad (6)$$

– в окрестностях станции

$$q_{окр.ст} = 100 - \frac{K}{0,0032 + 0,0070 \cdot K}. \quad (7)$$

Зависимости изменения теплового потока из помещений станции в грунт

Работы по определению зависимостей теплового потока из помещений станций и тоннелей в грунт [9, 10] описывают тепловой режим станций открытого типа и однопутных тоннелей. Для современных тенденций строительства новых линий метрополитена в РФ определены закономерности изменения теплового потока из пассажирских помещений станции закрытого типа в грунт для 1 года эксплуатации и для 15 года эксплуатации в зависимости от глубины заложения станции, коэффициента температуропроводности грунтов (как комплексного теплофизического параметра), а также климатических особенностей региона строительства [11].

Формула изменения теплового потока в течение года в установившемся режиме эксплуатации имеет следующий вид:

$$q_h(\tau) = K_{aB}(h) \cdot K_{kB}(h) \cdot B(h) + K_{aA}(h) \cdot K_{kA}(h) \cdot A(h) \cdot \cos(0,0172 \cdot \tau + K_{a\omega}(h) \cdot K_{k\omega}(h) \cdot \omega(h)), \quad (8)$$

где $A(h)$ – амплитуда колебаний величины удельного теплового потока, Вт/м²; $B(h)$ – среднегодовое значение удельного теплового потока, Вт/м²; $\omega(h)$ – начальная фаза колебаний величины удельного теплового потока, рад; 0,0172 – угловой коэффициент, 1/сут.

Поправочные коэффициенты K_{aB} , K_{aA} , $K_{a\omega}$, K_{kB} , K_{kA} , $K_{k\omega}$ (с индексом «а») на коэффициент температуропроводности грунта, с индексом «к» – на наружный климат, определены для различных глубин заложения h , м. Изменение теплового потока в грунт для климатических условий Новосибирска для 15 года эксплуатации приведены на рис. 3, для 1 года эксплуатации – на рис. 4. Коэффициенты формулы теплового потока (8) приведены в табл. 1 и 2.

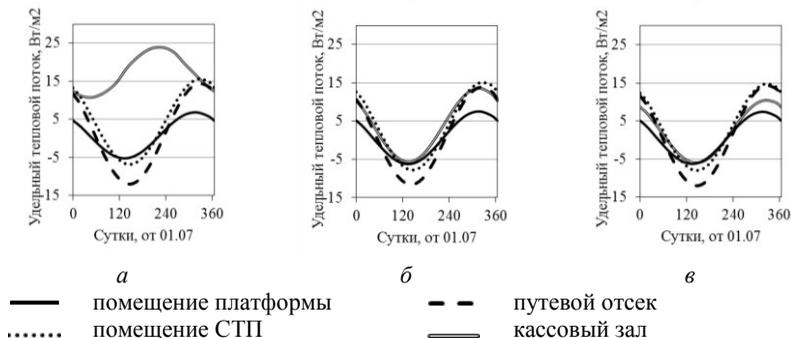


Рис. 3. Изменение удельного теплового потока от станции в грунт в течение 15 года эксплуатации: положительные значения – теплопотери в грунт, отрицательные значения – теплопоступления из грунта; *a* – глубина заложения 1 м; *б* – глубина заложения 5 м; *в* – глубина заложения 10 м

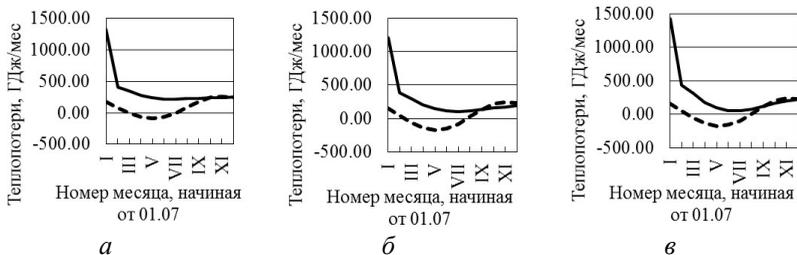


Рис. 4. Тепловые потери по месяцам из помещений станции закрытого типа с двухпутным тоннелем в грунт: *a* – глубина заложения 1 м; *б* – глубина заложения 5 м; *в* – глубина заложения 10 м; сплошная линия – теплопотери в начальный (1-й год) эксплуатации; пунктирная линия – теплопотери на 15 году эксплуатации; положительные значения по оси ординат – теплопотери со станции, отрицательные – теплопоступления из грунта

Таблица 1

Поправочные коэффициенты
на теплофизические свойства грунтов

$a \cdot 10^7$	4	5	6	7	8
Значения коэффициента $K_{ав}$ для среднегодовой величины теплового потока					
$h = 1$ м	0,82	1	1,17	1,33	1,48
$h = 3$ м	0,82	1	1,18	1,36	1,53
$h = 5$ м	0,82	1	1,18	1,36	1,53
$h = 10$ м	0,83	1	1,17	1,34	1,82
$h = 15$ м	0,83	1	1,16	1,33	1,79
$h = 25$ м	0,85	1	1,15	1,29	1,7
Значения коэффициента $K_{аА}$ для амплитуды колебаний величины теплового потока					
$h = 1$ м	0,94	1	1,05	1,1	1,14
$h = 3$ м	0,93	1	1,06	1,11	1,15
$h = 5$ м	0,9	1	1,08	1,16	1,23
$h = 10$ м	0,9	1	1,1	1,19	1,32
$h = 15$ м	0,9	1	1,09	1,17	1,28
$h = 25$ м	0,9	1	1,09	1,17	1,25
Значения коэффициента $K_{аω}$ для начальной фазы колебаний величины теплового потока					
$h = 1$ м	0,98	1	1,02	1,04	1,07
$h = 3$ м	0,97	1	1,02	1,03	1,05
$h = 5$ м	0,97	1	1,03	1,07	1,1
$h = 10$ м	1,02	1	0,99	0,98	1,04
$h = 15$ м	1,01	1	0,99	0,98	0,96
$h = 25$ м	1,01	1	0,99	0,98	0,98

Таблица 2

Поправочные коэффициенты для Москвы и Баку

Город	$h, \text{ м}$	1	3	5	10	15	25
Москва	$K_{кВ}$	0,79	0,81	0,83	0,86	0,89	0,94
	$K_{кА}$	1,1	0,99	0,99	1	1	1
	$K_{кω}$	0,8	0,92	0,98	1	1	1
Баку	$K_{кВ}$	0,21	0,32	0,38	0,5	0,6	0,79
	$K_{кА}$	1,07	0,98	0,98	1	1	1
	$K_{кω}$	0,69	0,88	0,97	1	1	0,99

Зависимости теплообмена между путевым отсеком и пассажирскими помещениями станции

Основным отличием станций закрытого типа от станций открытого типа является изоляция путевого отсека от помещения пассажирской платформы. В связи с этим тепловыделения от поездов попадают на станцию только частично. Поэтому необходимо определить зависимости теплообмена между путевым отсеком и станцией закрытого типа для учета этой величины в тепловом балансе станции.

Выявлены два механизма теплообмена между пространством путевого отсека и пассажирской платформой станции закрытого типа: а) теплообмен через ограждающую конструкцию путевого отсека (стандартная задача строительной теплофизики); б) теплообмен вследствие перетекания нагретого воздуха из путевого отсека на станцию и наоборот.

Проведен ряд вычислительных экспериментов по определению аэротермодинамических процессов теплообмена в программно-вычислительной среде ANSYS [12]. Определено, что перетекание теплого воздуха из более нагретой области (вагон, пассажирская платформа) происходит в верхней трети дверного проема путевого отсека. Предложена формула определения теплового потока через открытые дверные проемы путевого отсека:

$$Q_{out} = \vartheta \cdot \frac{1}{3} \cdot h \cdot b \cdot \rho_g \cdot c_g \cdot (t_{no} - t_{cm}) \cdot n_g \cdot n_n \cdot N_{n/cym} \frac{2 \cdot \tau_{cm}}{24 \cdot 1000 \cdot 3600}, \quad (9)$$

где ϑ – скорость воздуха в верхней трети проема, м/с, определяется экспериментально; h, b – габариты проема, м; ρ_g – плотность воздуха, кг/м³; c_g – изобарная теплоемкость воздуха, Дж/(кг·°С); t_{no} – температура в путевом отсеке, °С; t_{cm} – температура воздуха на станции, °С; n_g – количество вагонов в поезде, ваг; n_n – количество дверных проемов в одном вагоне, шт.; τ_{cm} – время стоянки поезда на станции, принято 30 с; 2 – значение парности движения составов; $N_{n/cym}$ – количество пар поездов в сутки, пар.

Средняя скорость воздуха в верхней трети дверного проема определена в зависимости от разницы температур воздуха между путевым отсеком и пассажирской платформой:

$$g = 0,013 \cdot (t_{no} - t_{cm}) + 0,174. \quad (10)$$

Тепловыделения от людей и персонала, стационарного обслуживания и эскалаторов определяются по известным методикам [7].

Для станции закрытого типа метрополитена с двухпутным тоннелем найдены зависимости изменения теплоизбытков в течение года на станции в зависимости от глубины заложения станции и от частоты движения поездов по линии метрополитена (для Новосибирска – на рис. 5).

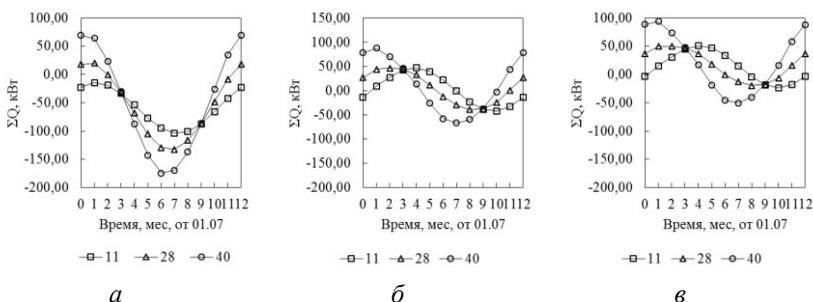


Рис. 5. Зависимости изменения теплоизбытков в течение года на станции от глубины заложения станции и от частоты движения поездов по линии метрополитена (11, 28 и 40 пар/ч): а – глубина заложения 1 м; б – 5 м; в – 15 м. Знак «+» означает теплоизбытки, знак «-» – теплонедостатки

Требуемые воздухообмены для проветривания станции

Из условия удаления теплоизбытков, влаговыведений, выделений CO_2 , поддержания воздухообмена не менее 3-кратного и подачи свежего воздуха в количестве не менее $30 \text{ м}^3/\text{ч}$ на одного человека, определен требуемый расход воздуха G , кг/с, для различных глубин заложения в теплый период года (для условий Новосибирска – рис. 6).

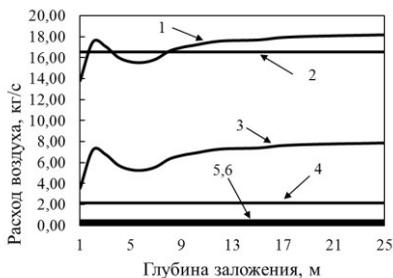


Рис. 6. Требуемый расход воздуха для проветривания станции для частоты движения поездов:

1 – для 40 пар/ч из условия удаления теплоизбытков; 2 – из условия обеспечения трехкратного воздухообмена; 3 – для 24 пар/ч из условия удаления теплоизбытков; 4 – из условия подачи свежего воздуха в количестве $30 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 чел.; 5 – из условия удаления избыточной влаги; 6 – из условия удаления CO_2

Так как продолжительный период времени в течение года на станции величина теплотеря превышает теплоизбытки, для их компенсации приточный воздух необходимо подогревать. Для снижения нагрузки на воздухоподогреватели и повышения экономичности эксплуатации, определена максимально возможная доля рециркуляционного воздуха от общего воздухообмена на станции.

Доля рециркуляции, %:

$$r = \frac{G - G_{\text{св}}^{\text{min}}}{G}, \quad (11)$$

где G – расчетный расход воздуха, кг/с; $G_{\text{св}}^{\text{min}}$ – минимальный требуемый расход свежего воздуха, $\text{м}^3/\text{с}$.

Для проектируемой станции метро «Гусинобродская» (г. Новосибирск) $G = 13,84 \dots 18,18 \text{ кг/с}$, $G_{\text{св}}^{\text{min}} = 2,12 \text{ кг/с}$. Тогда максимальная величина доли рециркуляции составит $84,7 \dots 88,3 \%$.

Схема системы раздельной вентиляции станции закрытого типа и требования к рабочим параметрам вентиляционного оборудования

Разработана схема раздельной вентиляции станции закрытого типа метрополитена мелкого заложения с двухпутным тоннелем (рис. 7). Основными достоинствами такой схемы являются: а) возможность поддержания параметров воздуха на станции в зависимости от параметров наружного климата; б) проветривание станции и двухпутного тоннеля осуществляется одними и теми же вентиляторами в пристанционных венткамерах.

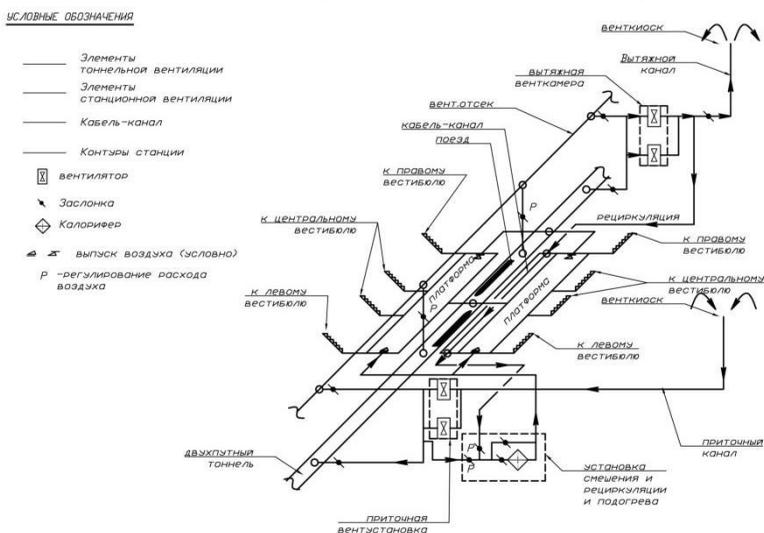


Рис. 7. Схема системы раздельной вентиляции станции закрытого типа метрополитена мелкого заложения с двухпутным тоннелем

В штатном режиме проветривания система вентиляции работает следующим образом. В летний период необходимое количество воздуха для проветривания станции и тоннеля забирается с поверхности, часть воздуха поступает в тоннель, часть – проходя по байпасу в установке смешения и рециркуляции – подается на станцию. Приточный воздух, проходя через пассажирскую платформу и вестибюли, ассимилирует теплоизбытки и выбрасывается через выходы на поверхность. В зимний период свежий воздух после приточной венткамеры в минимально

требуемом количестве попадает в установку рециркуляции, смешивается с вытяжным тоннельным воздухом, подающимся из вытяжной венткамеры, подогревается в калорифере и подается на станцию. Воздушная смесь восполняет теплонедостатки и выбрасывается через выходы на поверхность.

В аварийном режиме работа системы вентиляции отличается от работы в штатном режиме. Вентиляторы приточной венткамеры реверсируются и начинают работать на вытяжку. Чистый наружный воздух поступает через выходы на поверхность в вестибюль, далее на пассажирскую платформу и в путевой отсек навстречу путям эвакуации пассажиров и персонала. В вентиляционном канале путевого отсека открываются два пожарных клапана, ограничивая участок распространения пожарных газов от горящего вагона. Воздух, поступивший в путевой отсек с пассажирской платформы, смешивается с продуктами сгорания и удаляется через пожарные клапаны в вентиляционный канал, затем в венткамеры и выбрасывается наружу.

Для системы отдельной вентиляции станции закрытого типа были определены аэродинамические характеристики вентиляционной сети для различных режимов работы (штатный и аварийный) (рис. 8), на основании которых определено поле требуемых рабочих параметров системы вентиляции: в штатном режиме – расход воздуха $74 \dots 109 \text{ м}^3/\text{с}$ и полное давление $1120 \dots 1320 \text{ Па}$; в аварийном режиме – расход воздуха не менее $122 \text{ м}^3/\text{с}$ при полном давлении не менее 1067 Па .

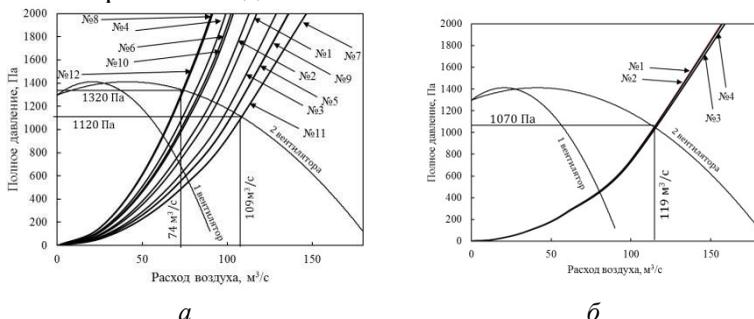


Рис. 8. Характеристики сопротивления системы отдельной вентиляции станции закрытого типа с двухпутным тоннелем:
а – штатный режим проветривания; *б* – аварийный режим проветривания

Заключение

Для станции закрытого типа метрополитена с двухпутным тоннелем определены зависимости:

- распределения удельной доли тепловыделений от поездов по длине участка «станция – двухпутный перегонный тоннель»;
- теплового потока из помещений станции закрытого типа в грунт, учитывающие глубину заложения станции, коэффициент температуропроводности грунтов, а также климатические особенности региона строительства;
- теплового потока между пассажирскими помещениями станции и путевым отсеком (двухпутным тоннелем) от частоты движения поездов и температур воздуха в пассажирских помещениях и путевом отсеке;
- изменения избыточного теплового потока на станции, подлежащие удалению системами вентиляции, от глубины заложения станции и от частоты движения поездов по линии метрополитена.

Определены воздухообмены на станции и максимально возможная доля рециркуляционного воздуха от общего воздухообмена на станции закрытого типа метрополитена с двухпутным тоннелем и требования к аэродинамическим параметрам работы вентиляторов.

Разработана схема раздельной вентиляции в штатном и аварийном режимах работы.

Полученные в работе результаты являются законченной научно-теоретической базой для проведения расчетов системы раздельной вентиляции станции закрытого типа метрополитена с двухпутным тоннелем на стадии проектирования.

Статья написана по результатам исследований, приведенных в рамках проекта ФНИ, номер госрегистрации АААА-А17-117091320027-5.

Список литературы

1. *Мельник, А. П., Мельник, Г. А., Полянкин, А. Г.* Внедрение современных технологий при строительстве подземного участка городской внеуличной транспортной системы в Москве // *Метро и тоннели.* – 2013. – № 1. – С. 12–14.
2. *Старков, А. Ю.* Технология строительства двухпутного перегонного тоннеля Санкт-Петербургского метрополитена // *Метро и тоннели.* – 2011. – № 2. – С. 8–9.
3. *Krasyuk, A. M., Lugin, I. V., Alferova, E. L., Kiyaniitsa, L. A.* Evaluation of ventilation flow charts for double-line subway tunnels without air chambers // *Journal of mining science.* – 2016. – Vol. 52, No. 4. – P. 740–751.
4. *СП 120.13330.2012.* Метрополитены [Электронный ресурс] : актуализированная ред. СНиП 32-02-2003. – Изм. 1, 2 : введ. 01.01.2013 // *Техэксперт.* Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации.
5. *СП 2.5.2623-10.* Санитарные правила эксплуатации метрополитенов. Изменения и дополнения № 1 к СП 2.5.1337-03 : утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 30.04.2010 : введ. 08.06.2010. – Москва, 2010. – 15 с.
6. *Кияница, Л. А., Лугин, И. В.* Тепло-влажностный баланс как определяющий расчетный параметр раздельной вентиляции метрополитена со станциями закрытого типа // *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук.* – 2016. – Т. 2, № 3 – С. 86–91.
7. *Цодиков, В. Я.* Вентиляция и теплоснабжение метрополитенов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Недра, 1975. – 568 с.
8. *Красюк, А. М.* Тоннельная вентиляция метрополитенов. – Новосибирск : Наука, 2006. – 164 с.
9. *Лугин, И. В., Алферова, Е. Л.* Влияние годовой цикличности изменения теплового потока в грунт на расчетный тепловой баланс двухпутного тоннеля метрополитена // *Интерэкспо ГЕО-Сибирь.* – 2016. – Т. 2, № 3. – С. 191–196.

10. *Пьянкова, А. Ю.* Прогнозирование тепловых режимов подземных сооружений метрополитенов мелкого заложения в условиях Западной Сибири : дис. ... канд. техн. наук. – Новосибирск, 2016. – 211 с.
11. *Кияница, Л. А., Лугин, И. В.* Тепло-влажностный баланс как определяющий расчетный параметр раздельной вентиляции метрополитена со станциями закрытого типа // *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук.* – 2016. – Т. 2, № 3. – С. 86–91.
12. *Федорова, Н. Н., Вальгер, С. А., Данилов, М. Н., Захарова, Ю. В.* Основы работы в ANSYS 17. – Москва : ДМК Пресс, 2017. – 210 с.

НЕКОТОРЫЕ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МНОГОСЛОЙНЫХ КОМПОЗИТНЫХ ПЛАСТИН

Ю.В. Немировский^{*}, А.В. Станиславович^{}**

Представлена математическая модель теплопроводности многослойных композитных пластин. Слои таких пластин могут быть набраны как из изотропных, так и из ортотропных материалов. Предложена методика аналитического решения стационарной задачи теплопроводности для таких многослойных пластин.

Ключевые слова: теплопроводность, аналитические решения, композитные материалы, слоистые конструкции.

Введение

Исследование различных проблем теплопередачи играет важную роль при проектировании газотурбинных двигателей и установок, авиационной и ракетной техники [1, 2]. При этом, помимо увеличения термического сопротивления по толщине стенок несущих и теплоотводящих конструкций, требуется обеспечение достаточной прочности и жесткости при ограничении веса таких конструкций. Одновременное выполнение таких требований может быть реализовано в подкрепленных конструкциях коробчатого типа или в трехслойных панелях с легкими алюминиевыми или стеклопластиковыми сотовыми наполнителями. Теплопроводность таких конструкций была исследована, например, в работах [3, 4]. В настоящее время разработаны технологии производства многослойных сотопластовых конструкций, разделяющих среды с различными температурами. Все составляющие конструкцию слои могут состоять из различных материалов, иметь различные структурные параметры армирования, различную форму, плотность и взаимное расположение сот и в связи с этим могут позволять в широких пределах управлять

^{*} Д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры строительной механики НГАСУ (Сибстрин)

^{**} Вед. инженер кафедры прочности летательных аппаратов НГТУ

температурным полем в направлении нормали к поверхности многослойной конструкции. Решение такой задачи нам неизвестно и должно быть основано на относительно разумных и простых гипотезах, позволяющих построить сравнительно простую расчетную модель, обеспечивающую возможность решения соответствующих задач управления тепловым полем и оптимизационных задач.

Постановка задачи

В общем случае распределение тепла в анизотропном теле описывается уравнением

$$\rho C_v \frac{\partial T}{\partial t} = \operatorname{div}(\Lambda \nabla T) + f \quad (1)$$

с начально-краевыми условиями

$$T|_{t=0} = \Phi_o, \quad \beta_1 \frac{\partial T}{\partial \mathbf{n}} \Big|_{\Gamma} - \beta_2 T|_{\Gamma} = -\varphi(t). \quad (2)$$

При $\beta_1 = 0, \beta_2 = 1$ получим первую краевую задачу.

При $\beta_1 = \Lambda, \beta_2 = 0$ получим вторую краевую задачу.

При $\beta_1 = -\Lambda, \beta_2 = \alpha, \varphi(t) = \alpha T_{cp}$ получим третью краевую задачу.

Здесь ρ – плотность; C_v – объемная теплоемкость материала; Λ – тензор теплопроводности анизотропной среды; f – внутренний распределенный источник тепла; \mathbf{n} – внешняя нормаль к границе области Γ ; α – коэффициент теплопередачи; T_{cp} – температура окружающей среды при конвективном теплообмене.

В общем случае для анизотропной среды тензор теплопроводности имеет вид

$$\Lambda = \begin{pmatrix} \lambda_{11} & \lambda_{12} & \lambda_{13} \\ \lambda_{21} & \lambda_{22} & \lambda_{23} \\ \lambda_{31} & \lambda_{32} & \lambda_{33} \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Рассмотрим прямоугольную слоистую в направлении оси Oz композитную пластинку (рис. 1) толщины H , состоящую из N слоев постоянной толщины δ_i ($i = 1, 2, \dots, N$).

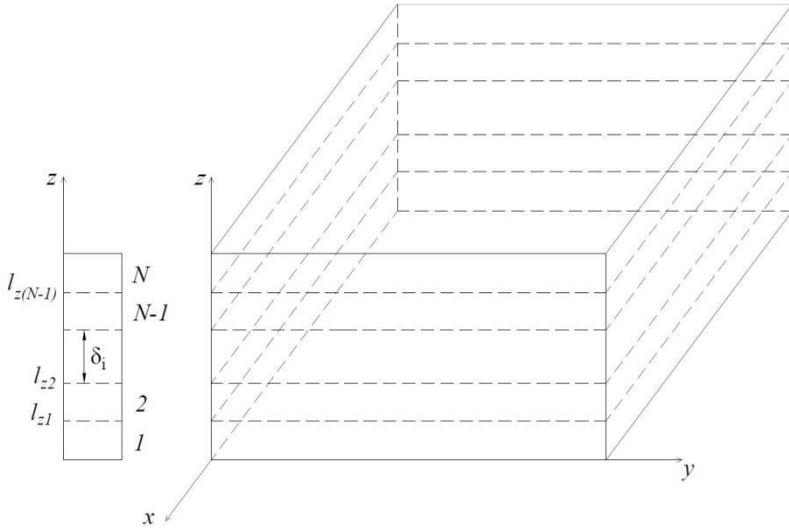


Рис. 1. Слоистая в направлении оси Oz прямоугольная пластинка

Будем считать все слои композиции ортотропными либо изотропными. Структура каждого слоя является либо армированной тонкими волокнами композицией, либо армированной частицами, либо изотропной, что позволяет использовать модель теплопроводности из [5–7]. Граница между i -м и $(i+1)$ -м слоями имеет координату l_{zi} ($i = 1, 2, \dots, N-1$). На границе раздела i -го и $(i+1)$ -го слоев задаются условия идеального теплового контакта

$$T^i \Big|_{z=l_{zi}} = T^{i+1} \Big|_{z=l_{zi}}; \lambda_i \frac{\partial T^i}{\partial z} \Big|_{z=l_{zi}} = \lambda_{i+1} \frac{\partial T^{i+1}}{\partial z} \Big|_{z=l_{zi}} \quad (i = 1, 2, \dots, N-1).$$

Здесь λ_i , λ_{i+1} – эффективные значения коэффициента теплопроводности i -го и $(i+1)$ -го слоев соответственно в направлении оси Oz в точке с координатой $z = l_{zi}$.

Эффективные значения компонент тензора теплопроводности для рассматриваемой пластинки найдем по формулам [8]:

$$\Lambda_{ij} = \sum_{k=1}^N \bar{\Omega}_k \Lambda_{ij}^{(k)} \quad (i, j = 1, 2), \quad \Lambda_{33} = \left(\sum_{k=1}^N \frac{\bar{\Omega}_k}{\Lambda_{33}^{(k)}} \right)^{-1}. \quad (4)$$

Здесь $\Lambda_{ij}^{(k)}$ – эффективные значения компонент тензора теплопроводности k -го слоя, взятые из [7, 8];

$$\bar{\Omega}_k = \frac{c_\varepsilon^k \delta_k}{c_\varepsilon H},$$

где c_ε^k – осредненное значение массовой теплоемкости k -го слоя; c_ε – осредненное значение массовой теплоемкости по всей пластинке [8].

Предполагая, что направление армирования во всех слоях либо совпадает, либо угол между направлениями армирования в различных слоях составляет $\pi/2$, получим ортотропный композитный материал (во втором случае путем переименования компонент тензора теплопроводности $\Lambda_{11} \rightarrow \tilde{\Lambda}_{22}$, $\Lambda_{22} \rightarrow \tilde{\Lambda}_{11}$).

Тогда тензор теплопроводности (3) преобразуется к виду

$$\Lambda = \begin{pmatrix} \Lambda_{11} & 0 & 0 \\ 0 & \Lambda_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \Lambda_{33} \end{pmatrix},$$

а выражения (4) примут вид

$$\Lambda_{ii} = \sum_{k=1}^N \bar{\Omega}_k \Lambda_{ii}^{(k)} \quad (i = 1, 2), \quad \Lambda_{33} = \left(\sum_{k=1}^N \frac{\bar{\Omega}_k}{\Lambda_{33}^{(k)}} \right)^{-1}. \quad (5)$$

В рамках данной статьи рассмотрим лишь стационарную задачу, когда температурное поле не зависит от времени. Тогда в декартовых координатах уравнение теплопроводности (1)–(2) запишется в виде

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) + f(x, y, z) = 0, \quad (6)$$

$$\{0 \leq x \leq L_x; 0 \leq y \leq L_y; 0 \leq z \leq L_z\},$$

$$\begin{aligned}
\left[\beta_{11}^x \frac{\partial T}{\partial x} - \beta_{21}^x T \right]_{x=0} &= -\varphi_1^x, & \left[\beta_{12}^x \frac{\partial T}{\partial x} - \beta_{22}^x T \right]_{x=L_x} &= -\varphi_2^x, \\
\left[\beta_{11}^y \frac{\partial T}{\partial y} - \beta_{21}^y T \right]_{y=0} &= -\varphi_1^y, & \left[\beta_{12}^y \frac{\partial T}{\partial y} - \beta_{22}^y T \right]_{y=L_y} &= -\varphi_2^y, \\
\left[\beta_{11}^z \frac{\partial T}{\partial z} - \beta_{21}^z T \right]_{z=0} &= -\varphi_1^z, & \left[\beta_{12}^z \frac{\partial T}{\partial z} - \beta_{22}^z T \right]_{z=L_z} &= -\varphi_2^z.
\end{aligned} \tag{7}$$

Здесь и далее предполагается, что $\Lambda_{11} = \lambda_x$, $\Lambda_{22} = \lambda_y$, $\Lambda_{33} = \lambda_z$.

Решение задачи (6)–(7) можно искать с помощью метода разделения переменных Фурье или эквивалентного ему метода интегральных преобразований [9], но поскольку это сопряжено с обширными математическими выкладками, в рамках данной статьи ограничимся рассмотрением одномерного случая.

Положим

$$\left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{y=0} = \left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{y=L_y} = 0, \quad \left. \frac{\partial T}{\partial z} \right|_{z=0} = \left. \frac{\partial T}{\partial z} \right|_{z=L_z} = 0.$$

Тогда задача (6)–(7) запишется в виде

$$\frac{d}{dx} \left(\lambda(x) \frac{dT}{dx} \right) + f(x, y, z) = 0 \quad \{0 \leq x \leq L\}, \tag{8}$$

$$\beta_{11} \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} - \beta_{21} T|_{x=0} = -\varphi_1, \quad \beta_{12} \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=L} - \beta_{22} T|_{x=L} = -\varphi_2. \tag{9}$$

Такая задача модельно может представлять собой, например, теплоотводящие элементы («ребра») систем охлаждения.

Решение уравнения (8) путем двукратного интегрирования находится в виде

$$T(x) = C_1 K(x) - P(x) + C_2, \tag{10}$$

где

$$\begin{aligned}
K(x) &= \int [\lambda_x(x)]^{-1} dx, & P(x) &= \int F(x) [\lambda_x(x)]^{-1} dx, \\
F(x) &= \int f(x) dx,
\end{aligned}$$

а константы интегрирования C_1, C_2 находятся из краевых условий (9)

$$C_1 = \frac{\beta_{21} [\beta_{12} P'_L - \beta_{22} P_L + \beta_{22} P_0] + \beta_{22} \varphi_1 - \beta_{22} \beta_{11} P'_0}{\beta_{21} [\beta_{12} K'_L - \beta_{22} K_L + \beta_{22} K_0] - \beta_{22} \beta_{11} K'_0},$$

$$C_2 = \frac{1}{\beta_{21}} [C_1 (\beta_{11} K'_0 - \beta_{21} K_0) - \beta_{11} P'_0 + \beta_{21} P_0 + \varphi_1].$$

Здесь нижний индекс при K, P означает точку, в которой вычисляются значения функций $K(x), P(x)$; штрих сверху – производную, например $K'_L = K'(L)$.

Результаты расчетов

В качестве примера рассмотрим задачу (8) с граничными условиями вида

$$-\lambda(0) \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = Q, \quad \lambda(1) \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=1} + \alpha T \Big|_{x=1} = 0 \quad (11)$$

в области

$$\{0 \leq x \leq 1\}.$$

При отсутствии внутренних источников тепла задача (8), (11) имеет решение вида (10), где

$$C_1 = -Q\lambda(0), \quad C_2 = \frac{Q\lambda(0) + \alpha\lambda(0)K(1)}{\alpha}, \quad P(x) \equiv 0.$$

Пусть $\lambda(x)$ изменяется от $\lambda(0)=1$ до $\lambda(1)=1/2$ по линейному, квадратичному и экспоненциальному законам. Тогда

$$\lambda_1(x) = -0.5x + 1, \quad \lambda_2(x) = -0.5x^2 + 1, \quad \lambda_3(x) = 0.5^x, \quad (12)$$

$$K_1(x) = -2 \ln|x-2|, \quad K_2(x) = -\frac{1}{\sqrt{2}} \ln \left| \frac{x-\sqrt{2}}{x+\sqrt{2}} \right|, \quad K_3(x) = \frac{2^x}{\ln 2}.$$

На рис. 2 представлено распределение температуры вдоль оси Ox при различных законах изменения коэффициента теплопроводности (12).

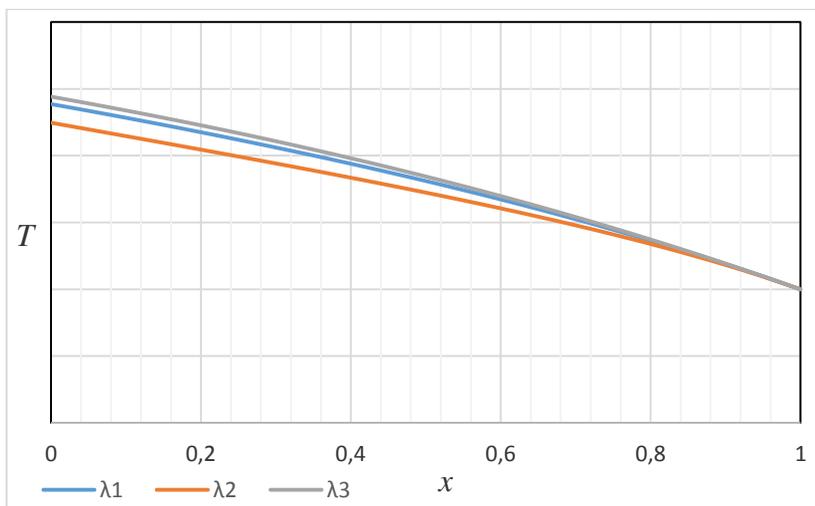


Рис. 2. Распределение температуры в зависимости от закона изменения коэффициента теплопроводности

Заключение

Таким образом, получена функциональная связь между структурными параметрами армирования (интенсивность и направление армирования в каждом из слоев композиции, удельное содержание каждого из слоев в многослойном пакете) и распределением температуры в теле, что позволяет поставить как задачу оптимального проектирования, так и задачу управления температурными полем внутри композитной пластинки путем варьирования структурных параметров армирования. Такие задачи особенно важны при конструировании систем охлаждения технических устройств и особенно летательных аппаратов, где широко применяются композитные конструкции, позволяющие создавать требуемые условия теплообменников при минимальном расходе (стоимости) материала теплообменника или его весе.

Рассмотренная задача теплопроводности относительно просто расширяется на многомерный случай, а также на случай не-

стационарной теплопроводности. При рассмотрении задачи в трехмерной постановке решение ищется, например, методом конечных интегральных преобразований. Для исключения производной по координате, вдоль которой свойства тела меняются ступенчато, можно использовать методику, предложенную в [10]. Отметим, конечно, что в этом случае выкладки получаются достаточно громоздкими.

Список литературы

1. *Авдуревский, В. С. [и др.]*. Основы теплопередачи в авиационной и ракетно-космической технике. – 2-е изд. – Москва : Машиностроение, 1992. – 528 с.
2. *Иванов, В. Л. [и др.]*. Теплообменные аппараты и системы охлаждения газотурбинных и комбинированных установок : учебник для вузов. – 2-е изд. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 592 с.
3. *Марченко, В. М.* Температурные поля и напряжения в конструкциях летательных аппаратов. – Москва : Машиностроение, 1965. – 298 с.
4. *Поварницын, М. С.* Исследование температурного поля в трехслойной пластине с сотовым наполнителем при несимметричном нагреве // Инженерно-физический журнал. – 1961. – Т. 4, № 10. – С. 64–70.
5. *Немировский, Ю. В., Станиславович, А. В.* Влияние формы и расположения армирующих элементов на тепловые свойства композитов // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. – 2015. – № 4 (26). – С. 3–24.
6. *Немировский, Ю. В., Станиславович, А. В.* Теплопроводность пакета полиармированных слоев // Вестник КемГУ. – 2015. – Т. 3, № 4 (64). – С. 177–183.
7. *Немировский, Ю. В., Станиславович, А. В.* Моделирование теплопроводности гибридных бетонных композитных материалов // Математика и информационные технологии

в нефтегазовом комплексе : тезисы Международной конференции, посвященной дню рождения великого русского математика академика П.Л. Чебышёва. – Сургут : ИЦ СурГУ, 2016. – С. 247–248.

8. *Немировский, Ю. В., Станиславович, А. В.* Теплопроводность пакета полиармированных слоев // Вестник КемГУ. – 2015. – Т. 3, № 4 (64). – С. 177–183.
9. *Карташов, Э. М.* Аналитические методы в теории теплопроводности твердых тел. – Москва : Высшая школа, 2001. – 550 с.
10. *Туголуков, Е. Н.* Решение задач теплопроводности методом конечных интегральных преобразований при автоматизированном проектировании технологического оборудования химической промышленности. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. – 116 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ ВОД В РЕАКТОРЕ-ОСВЕТИТЕЛЕ

О.Д. Примак^{*}, Ю.Л. Сколубович^{**}, Н.Н. Федорова^{***},
Е.Л. Войтов^{**}

Представлены результаты численного моделирования процесса фильтрации в реакторе-осветлителе, использующем взвешенный слой контактной загрузки. Расчеты проведены в программном комплексе ANSYS Fluent (ANSYS Customer number 531496) на основе полных уравнений Навье – Стокса, дополненных уравнениями эйлеровой модели многофазности с учетом гранулярности фазы частиц. Получена нестационарная картина формирования «кипящего» слоя частиц. Представлены результаты параметрических расчетов, позволяющих оценить влияние скорости потока, толщины слоя загрузки, крупности песка и других параметров на структуру псевдооживленного слоя.

Ключевые слова: реактор-осветлитель, псевдооживление, взвешенный слой, моделирование, фильтрация.

Введение

Большая часть подземных источников является низкотемпературными, маломутными и имеют повышенное содержание железа (> 5 мг/л) и марганца ($> 0,3$ мг/л). Для очистки таких вод применяют глубокую аэрацию, реагентную обработку сильными окислителями (озоном, перманганатом калия, хлором и его соединениями) и щелочами (известью, каустической и кальцинированной содой). Кроме того, при необходимости воду обрабатывают коагулянтами, флокулянтами и др.

После обработки воды реагентами образуются гидроксиды металлов. Коагуляция обычно сопровождается образованием осадка. При низких температурах в водоочистных сооружениях отсутствуют условия для возникновения «зародышей» твердой

* Магистрант кафедры водоснабжения и водоотведения НГАСУ (Сибстрин)

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

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

фазы, и поэтому продукты гидролиза остаются в растворенном или коллоидном состоянии.

Существующие сооружения, такие как осветлители со слом взвешенного осадка, отстойники, зернистые фильтры, малоэффективны в очистке вод из подземных источников. С целью повышения эффективности работы и усовершенствования сооружений для предварительной очистки подземных вод питьевого и технического водоснабжения в НГАСУ (Сибстрин) разработан реактор-осветлитель, работающий на принципе контактной коагуляции [1–5].

Реактор-осветлитель представляет собой разновидность фильтровального аппарата, в котором реализуется восходящее фильтрование через слой взвешенной загрузки (псевдооживленной) контактной массы.

Под влиянием восходящего газового или жидкостного потока слой зернистого материала превращается в систему, в которой твердые частицы находятся во взвешенном состоянии, образуя псевдооживленный слой, по свойствам похожий на кипящую жидкость. Кипящие слои применяются в технологиях водоподготовки и водоочистки [6].

Целью работы является создание компьютерной модели реактора-осветлителя со взвешенным слоем загрузки и проведение численных исследований, позволяющих получить оптимальные режимы работы установки при изменении ее размеров, толщины слоя загрузки и др. параметров.

Экспериментальная установка

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. Вода, обработанная реагентами, подается в воздухоотделитель 10, который предотвращает попадание пузырьков газа в слой контактной массы 2. Далее вода проходит по опускной распределительной трубе 4 и равномерно распределяется по площади осветления устройства, затем вода проходит снизу вверх через слой контактной массы 2 со скоростью, обеспечивающей взвешивание контактной массы.

За счет повышения объемной концентрации твердой фазы во взвешенном слое происходит процесс гидролиза коагулянта,

контактная коагуляция продуктов гидролиза, адсорбция гидроксидов металлов зернами взвешенной контактной массы и образование в слое осадка, который сам является сорбентом для примесей воды. Осветленная вода собирается желобом 8 и выводится.

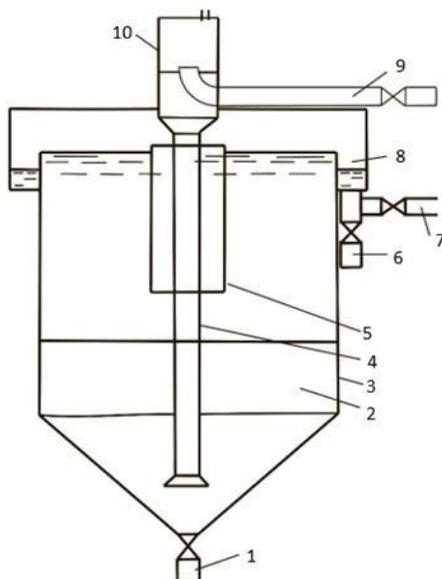


Рис. 1. Схема реактора-осветлителя:

- 1 – трубопровод опорожнения; 2 – контактная загрузка; 3 – корпус;
 4 – опускная распределительная труба; 5 – полупогружной цилиндр;
 6 – трубопроводы отведения промывной воды; 7 – трубопроводы
 подачи промывной воды; 8 – сборный желоб; 9 – трубопровод
 исходной воды; 10 – воздухоотделитель

При движении воды через слой загрузки происходит взвешивание контактной массы. Рабочая скорость восходящего потока подбирается таким образом, чтобы контактная масса оставалась во взвешенном состоянии. Основная часть расширенной загрузки представляет собой фильтрующую среду. В верхнем слое, составляющем 10 % от всего слоя загрузки, мелкие частицы находятся в состоянии хаотичного движения [2]. В качестве

контактной массы используется кварцевый песок или другой зернистый материал.

Взвешенный слой фильтрующей загрузки находится под действием двух основных противоположно направленных сил: направленной вертикально вниз и равной массе загрузки в воде силы тяжести и давления восходящего потока воды P , направленного вверх. Кроме этого, на поведение частиц слоя загрузки оказывают влияние сила сопротивления частиц сумм Саффмана и Магнуса, а также дополнительные гранулярные давление, температура и напряжение. На рис. 2 показаны варианты поведения загрузки.

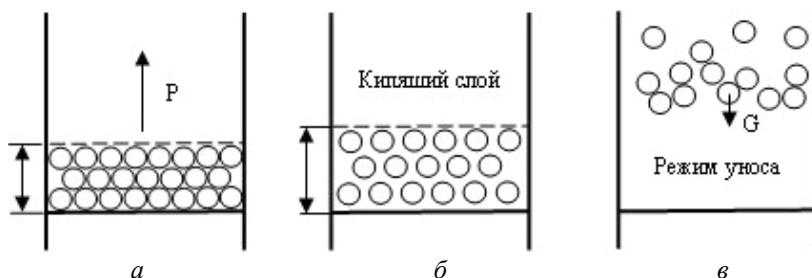


Рис. 2. Возможные типы течения:

a – оседание загрузки; *б* – кипящий слой; *в* – режим уноса

Образование застойных зон может существенно снизить производительность реактора. Поэтому на этапе проектирования необходимо выполнить оценку структуры течения и выбрать параметры течения, обеспечивающие наибольшую производительность. С этой целью используют экспериментальные и расчетные методы.

Математическая модель

В настоящей работе исследование течения в реакторе-осветлителе проведено численно в программном комплексе ANSYS 17.2 [7]. Моделирование кипящего слоя выполнено для осесимметричной 2D-модели, включающей две фазы: воду и песок. Задача решалась в нестационарной двумерной постановке с учетом гравитации и межгранулярного взаимодействия частиц.

В качестве основных уравнений использованы нестационарные осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье–Стокса, дополненные стандартной $k-\varepsilon$ моделью турбулентности. Для описания движения фаз использована эйлера модель – наиболее полная и сложная модель многофазности, реализованная в ANSYS Fluent [7]. Все фазы имеют общее давление, но для каждой фазы решаются свои уравнения неразрывности и импульсов. Взаимодействие фаз учитывается через давление и коэффициенты межфазного обмена [7]. Для фазы песка подключена опция «гранулярность».

Использовались следующие основные уравнения сохранения массы, импульса и энергии, записанные для каждой фазы:

– уравнение неразрывности жидкой и твердой фаз

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_i \rho_i) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\alpha_i \rho_i u_{ij}) = 0 ; \quad (1)$$

– уравнения сохранения импульсов жидкой и твердой фаз

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\alpha_1 \rho_1 u_{1k}) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\alpha_1 \rho_1 u_{1j} u_{1k}) = \\ = -\alpha_1 \frac{\partial p}{\partial x_k} + \frac{\partial \tau_{1,kj}}{\partial x_j} + \alpha_1 \rho_1 g_k + R_{2,1,k} + \alpha_1 \frac{C_2 \rho}{2\gamma} |u_{1k}| u_{1k} ; \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\alpha_2 \rho_2 u_{2k}) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\alpha_2 \rho_2 u_{2j} u_{2k}) = -\alpha_2 \frac{\partial p}{\partial x_k} - \frac{\partial p_s}{\partial x_k} + \\ + \frac{\partial \tau_{2,kj}}{\partial x_j} + \alpha_2 \rho_2 g_k + R_{1,2,k} + \alpha_2 \frac{C_2 \rho}{2\gamma} |u_{1k}| u_{2k} . \end{aligned} \quad (3)$$

Межгранулярное давление определяется кинетической составляющей и взаимодействием частиц:

$$p_s = \alpha_s \rho_s \Theta_s + 2\rho_s (1 + e_{ss}) \alpha_s^2 g_{0,ss} \Theta_s . \quad (4)$$

В уравнениях (1)–(4) α_i – объемная концентрация i -й фазы; ρ_i – истинная плотность i -й фазы; u_{ij} – j -я компонента скорости i -й фазы; индексы $i = 1, 2$ соответствуют жидкой и твердой фазам; $j = 1$ и 2 – проекции вектора на оси x и y соответственно; g – гравитация; $R_{ij,k}$ – k -я проекция силы межфазного взаимодействия i -й и j -й фаз; p – давление жидкой среды; p_s – межгрануляр-

ное (хаотическое) давление; Θ – гранулярная температура, пропорциональная кинетической энергии хаотического движения частиц; $e = 0.9$ – коэффициент восстановления при взаимодействии частиц; g_0 – функция радиального распределения, определяющая переход от условий «сжимаемости» потока смеси $\alpha_2 < \alpha_{2,\max}$, при которых расстояние между частицами может продолжать уменьшаться, к условиям «несжимаемости» $\alpha_2 = \alpha_{2,\max}$, при которых дальнейшее уменьшение расстояния между частицами невозможно. В расчетах используется формула [8]:

$$g_0 = \left[1 - (\alpha_2 / \alpha_{2,\max})^{1/3} \right]^{-1}. \quad (5)$$

Последний член в уравнении (3) учитывает сопротивление пористой среды (сток импульса); C_2 – коэффициент инерционного сопротивления; γ – коэффициент пористости. При $\gamma = 1$ потери сопротивления на пористость отсутствуют.

Выражение для тензора напряжений k -й фазы имеет вид:

$$\tau_{k,ij} = \alpha_k \mu_k \left(\frac{\partial u_{ki}}{\partial x_j} + \frac{\partial u_{kj}}{\partial x_i} \right) + \alpha_k \left(\lambda_k - \frac{2}{3} \mu_k \right) \frac{\partial u_{kl}}{\partial x_l} \delta_{ij}, \quad (6)$$

где μ_k, λ_k – сдвиговая и объемная вязкости соответственно.

Сила межфазного взаимодействия i -й и j -й фаз определяется по формуле $R_{ij,k} = K_{ij}(u_{ik} - u_{jk})$, где $K_{ij} = K_{ji}$ – коэффициент межфазного обмена импульсами. Выражение для коэффициента обмена импульсами между жидкой и твердой фазами имеет вид:

$$K_{21} = \frac{3\alpha_2\alpha_1\rho_{11}}{4u_{r,p}^2 d_p} C_D \frac{\text{Re}_p}{u_{r,p}} |u_2 - u_1|, \quad (7)$$

где d_p – диаметр частиц; коэффициент сопротивления C_D определяется с помощью различных эмпирических зависимостей (см., например [9, 10]); $\text{Re}_p = \rho_{11} d_p |u_2 - u_1| / \mu_1$ – относительное число Рейнольдса [11]; μ_1 – вязкость жидкости.

Уравнение переноса для описания неизвестной функции Θ , полученное методами кинетической теории, имеет вид [12]:

$$\begin{aligned} & \frac{3}{2} \left[\frac{\partial}{\partial t} (\rho_{22} \alpha_2 \Theta) + \frac{\partial}{\partial t} (\rho_{22} \alpha_2 u_{2,i} \Theta) \right] = \\ & = (-\rho_s \delta_i + \tau_{2,ij}) \frac{\partial u_{2,j}}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(N_\Theta \frac{\partial \Theta}{\partial x_i} \right) - \gamma_\Theta + \phi_{12}. \end{aligned} \quad (8)$$

Коэффициент диффузии описывается соотношением [13]:

$$N_\Theta = \frac{15d_2 \rho_2 \alpha_2 \sqrt{\pi \Theta}}{4(41-33\eta)} \left[1 + \frac{12}{5} \eta^2 (4\eta-3) \alpha_2 g_0 + \frac{16}{15\pi} (41-33\eta) \eta \alpha_2 g_0 \right],$$

где $\eta = \frac{1+e}{2}$.

Коэффициент диссипации вычисляется так:

$$\gamma_\Theta = \frac{12(1-e^2)g_0}{d_p \sqrt{\pi}} \rho_{22} \alpha_2^2 \Theta^{3/2}. \quad (9)$$

Перенос кинетической энергии хаотического движения частиц от твердой фазы к газовой описывается выражением $\phi_{12} = -3K_{12}\Theta$ [14].

Математическая постановка задачи

Геометрическая модель реактора-осветлителя показана на рис. 3. Геометрическая модель и сетка были построены в ANSYS Workbench 17.2.

На входной границе *inlet* (см. рис. 3) была задана скорость потока U , на выходной границе *outlet* задано давление окружающей среды (1 атм). На твердых стенках заданы условия прилипания. Сила тяжести g действует в направлении, противоположном направлению оси x . В начальный момент времени установка заполнена водой и в нее засыпана загрузка (кварцевый песок). В последующие моменты вода начинает поступать через входную границу и проходить через слой загрузки. Под действием восходящего потока воды частицы поднимаются, и слой расширяется.

В работе представлены результаты расчетов двух установок, отличающихся размерами. Основные параметры установок (высота H , диаметр D , начальная высота слоя загрузки h_0 и его пористость α_0 , а также вязкость жидкости μ и плотность материала частиц ρ_2) приведены в табл. 1.

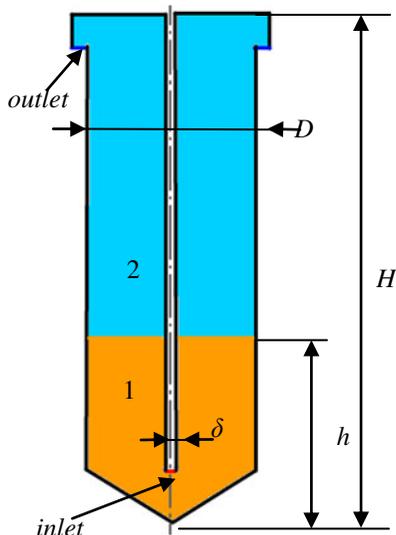


Рис. 3. Геометрическая модель реактора-осветлителя

Таблица 1

Исходные данные для задач 1 и 2

Задача	D , мм	H , мм	h_0 , мм	α_0	μ , Па·с	ρ_2
1	100	300	100	0.6	–	1920
2	100	3000	1000	0.47	$1.38 \cdot 10^{-3}$	1920

На первом этапе (задача 1) была построена модель установки малого размера высотой $H = 300$ мм. Скорость на входе составляла 8.5–10.7 м/ч, размер частиц фильтрующей загрузки изменялся от 0.3 до 1.2 мм. На следующем этапе было выполнено моделирование процесса образования псевдооживлен-

ного слоя в лабораторной установке, обеспечивающей необходимый эффект осветления, высотой $H = 3$ м (задача 2). Расчеты задачи 2 проводились при следующих параметрах: предельная упаковка слоя частиц $\alpha_{пред} = 0.47$, диаметр зерен контактной массы $d = 0.6$ мм, скорость на входе $U = 8.5$ м/ч.

Результаты расчетов

ЗАДАЧА 1. Целью моделирования является получение псевдостационарного режима, когда частички загрузки не выносятся с водой из реактора-осветлителя и не осаждаются на дне. В результате численных исследований получено, что под действием восходящего потока жидкости слой загрузки «вспухает», образуя кипящий слой. На рис. 4 показан результат расчета для указанных выше параметров. Более темный слой соответствует меньшей концентрации частиц загрузки. Видно, что начальная толщина слоя увеличилась примерно в два раза. Таким образом, при данных параметрах реализуется режим псевдоожижения.

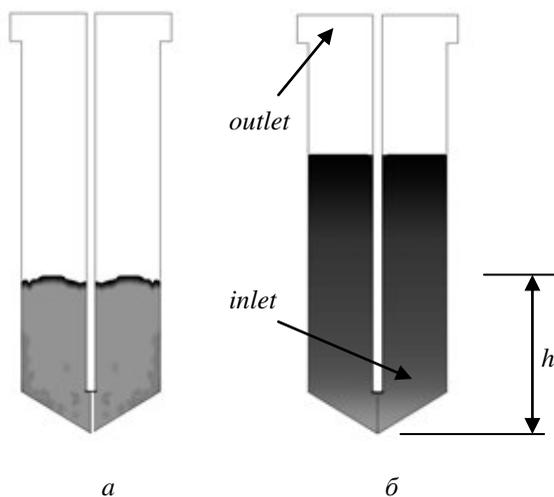


Рис. 4. Объемная концентрация материала загрузки на начальный (а) и конечный (б) моменты времени для $U = 8.5$ м/ч и $d = 0.6$ мм

Была выполнена серия расчетов с изменением величины зерен загрузки d и скорости во входном сечении U . В результате проделанной работы удалось установить оптимальные скорости течения жидкости через слой взвешенной загрузки для конкретных размеров зерен загрузки. При этом увеличение толщины слоя загрузки не превышало 15 %, что соответствует условиям оптимальной работы установки [2]. Полученные результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2

Скорость фильтрации для различных диаметров частиц слоя загрузки

d , мм	0.3	0.6	1	1.2
U , м/ч	7.9	8.8	9.9	10.7

ЗАДАЧА 2. Расчет проведен при фиксированных значениях скорости и размера частиц. Целью данного этапа было изучение развития нестационарного процесса образования взвешенного слоя. В начальный момент времени слой загрузки находится в нижней части установки и имеет концентрацию, равную предельной упаковке частиц (влажный песок). Под действием воды, которая поступает через опускную трубу, частицы песка начинают двигаться.

Анализ представленных на рис. 5 распределений объемной концентрации на плоскости и линии тока в различные моменты времени позволяет отследить движение слоя смеси в реакторе-осветлителе. На начальном этапе происходит резкая перестройка режимов течения. На рис. 5а видны два однонаправленных вихря, которые в дальнейшем сливаются в один большой вихрь (рис. 5б) той же направленности.

Смесь поднимается вверх вдоль опускной трубы и опускается вниз вблизи внешней стенки. На рисунке видно, что в восходящем и нисходящем течении концентрация частиц повышена и отсутствуют «отложения» на дне. С течением времени интенсивность вихря уменьшается (рис. 6а), и под действием восходящего потока воды направление вихря изменяется на противо-

положное. Интенсивность нового вихря растет, что увеличивает концентрацию песка и способствует образованию локального вихря в верхней части слоя загрузки (см. рис. 6б).

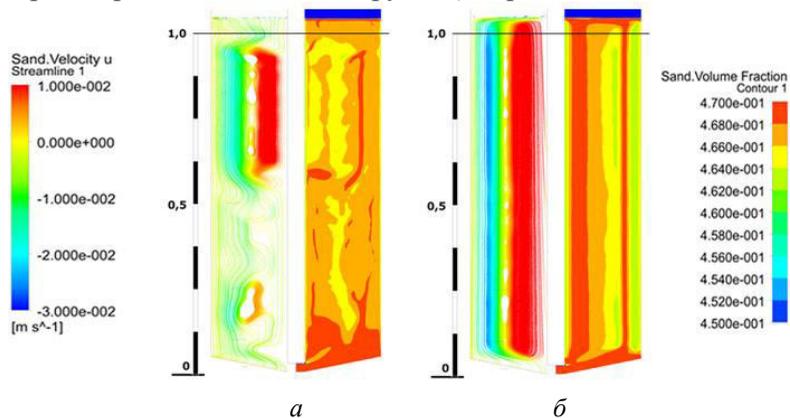


Рис. 5. Линии тока частиц и распределение объемной концентрации частиц в расчетной области в моменты времени $t = 0.05$ и 0.1 с

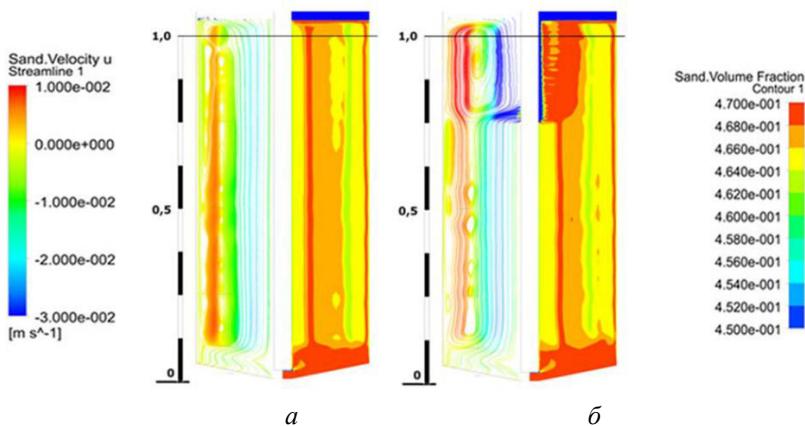


Рис. 6. Линии тока частиц и распределение объемной концентрации частиц, $t = 0.15$ и 0.19 с

При достижении критической массы песка в верхней части слоя происходит резкое обрушение объема частиц вниз с формированием интенсивного течения вдоль опускной трубы (рис. 7).

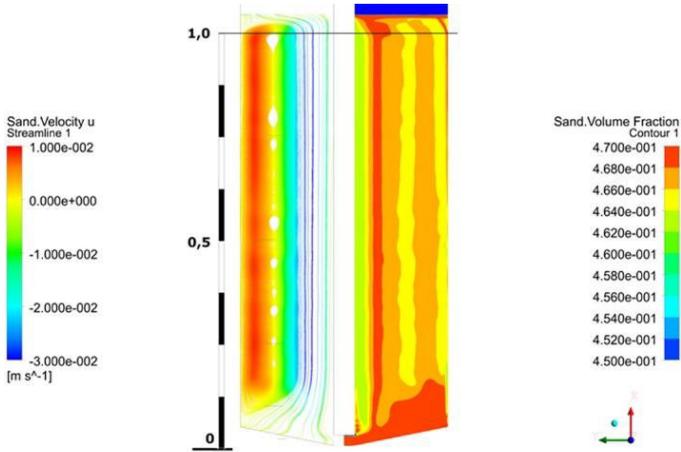


Рис. 7. Линии тока частиц и распределение объемной концентрации частиц, $t = 0.23$ с

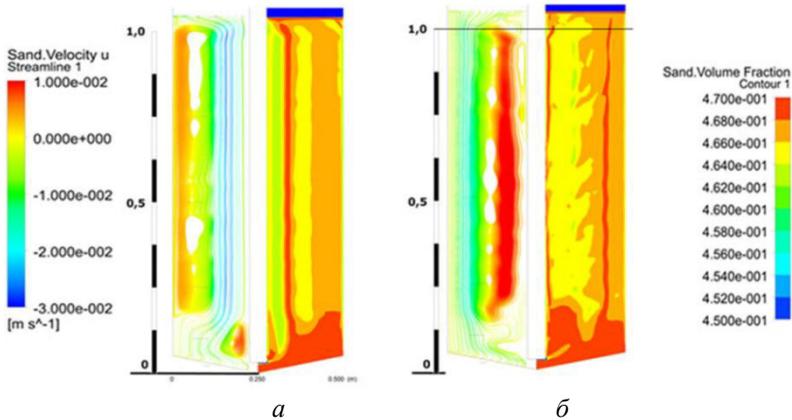


Рис. 8. Линии тока частиц и распределение объемной концентрации частиц в моменты времени $t = 0.29$ и 0.32 с

При ослаблении интенсивности этого вихря, в основании опускной трубы реактора-осветителя зарождается новый локальный вихрь противоположной направленности (рис. 8а). Вдоль опускной трубы формируется восходящее течение, при

воздействии которого основной вихрь ослабляется и разбивается на более мелкие. С течением времени направление основного вихря изменяется на противоположное (см. рис. 8б). При этом происходит осаждение частиц песка и увеличение концентрации загрузки возле опускной трубы в основании реактора-осветлителя (рис. 9).

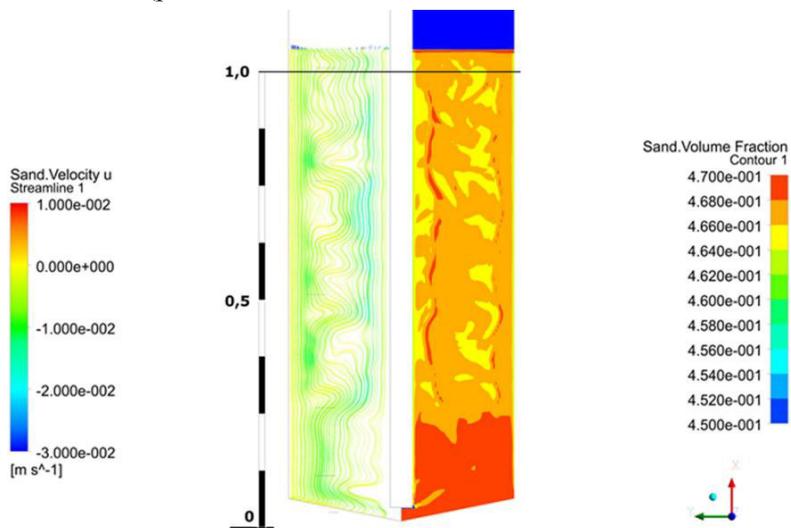


Рис. 9. Линии тока частиц и распределение объемной концентрации частиц, $t = 0.42$ с

После нескольких смен режима образуется псевдооживленный (кипящий) слой контактной массы, который характеризуется наличием большого числа мелких вихрей и более равномерным распределением концентрации частиц. Расширенный слой на 7–10 % выше начального уровня, что соответствует данным лабораторного эксперимента на натурной установке.

Кипящий слой существует достаточно продолжительный период времени, однако в дальнейшем на дне установки начинается осажаться песок, и с течением времени восстанавливается нестационарное течение с резкими сменами режимов.

Заключение

В работе был исследован процесс фильтрования воды во взвешенном слое загрузки реактора-осветлителя. Проанализирована работа по теме фильтрования воды во взвешенном слое загрузки. Выбрана математическая постановка задачи, соответствующая физике процесса. Проведены параметрические расчеты для различных скоростей. Полученные данные могут говорить о несовершенстве распределительной системы и о недостаточности высокой скорости восходящего потока, которая связана как со скоростью подачи воды, так и с параметрами слоя загрузки.

Список литературы

1. *Войтов, Е. Л., Сколубович, Ю. Л.* Подготовка питьевой воды из поверхностных источников с повышенным природным и антропогенным загрязнением : монография. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2010. – 216 с.
2. *Сколубович, Ю. Л., Сопна, М. С., Синеева, Н. В.* Моделирование нестационарных характеристик движения частиц контактной массы в реакторе-осветлителе // Известия вузов. Строительство. – 2015. – № 7 (679). – С. 38–43.
3. *Сопна, М. С., Синеева, Н. В., Крутков, А. Е.* Численное моделирование движения частиц контактной массы в реакторе-осветлителе // Труды НГАСУ. – 2015. – Т. 18, № 2 (60). – С. 5–12.
4. *Сколубович, Ю. Л., Бойко, О. А., Зеркаль, С. М., Сколубович, А. Ю., Рогазинский, С. В.* Численные результаты моделирования работы фильтрующего взвешенного слоя // Вестник ТГАСУ. – 2014. – № 1. – С. 119–124.
5. *Пат. 2230707* Российская Федерация, МПК⁷ С02F1/52. Устройство для очистки воды / Е. Л. Войтов, Ю. Л. Сколубович. – Заявл. 27.01.2004 ; опубл. 26.06.2004.

6. Дэвидсон, И. Ф., Харрисон, Д. Псевдооживление твердых частиц / пер. с англ. В. Г. Айнштейна ; под ред. Н. И. Гельперина. – Москва : Химия, 1965. – 184 с.
7. Федорова, Н. Н., Вальгер, С. А. Захарова, Ю. В. Моделирование гидродинамических процессов в ПК ANSYS 17.0 : учеб. пособие. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2016. – 168 с.
8. Валулин, С. Н., Шабаров, В. В. Математическое моделирование процессов тепломассопереноса в перекрестноточном теплообменном аппарате // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия: Механика. – 2008. – № 2. – С. 115–121.
9. Dalla Valle, J. M. Micromeritics. – London : Pitman, 1948.
10. Крайко, А. Н., Нугматулин, Р. И., Стариков, В. К., Стернин, А. Е. Механика многофазных сред. – Москва : ВРШТИ, 1972.
11. Richardson, J. R., Zaki, W. N. Sedimentation and Fluidization // Trans. Inst. Chem. Eng. – 1954. – Pt. 1, No. 32. – P. 35–53.
12. Ding, J. D. A Bubbling Fluidization Model Using Kinetic Theory of Granular Flow // Gidaspow, IChE J. – 1990. – No. 36 (4). – P. 523–538.
13. Syamlal, M. W., O'Brien, T. J. MFIX Documentation. Vol. 1 : Theory Guide: Tech. Note // National Technical Information Service. – DOE/METC-9411004, NTIS/DE9400087 (Springfield, 1993).
14. Gidaspow, D. R. Hydrodynamics of Circulating Fluidized Beds, Kinetic Theory Approach Bezburuah and J. Ding // Fluidization VII : Proc. of the 7th Eng. Foundation Conf. on Fluidization, Brisbane (Australia, May 3–8, 1992). – 1992. – P. 75–82.

УДК 304

ПАТРИОТИЗМ В СОЦИОЛОГИЧЕСКОМ ИЗМЕРЕНИИ

П.А. Кулаков*

Патриотизм является объектом исследования социологов разных исследовательских центров. Все они отмечают рост патриотических настроений граждан нашей страны. Целью статьи является сравнительный анализ результатов опросов Всероссийского центра изучения общественного мнения (ВЦИОМ), «Левада-центра» и Фонда общественного мнения (ФОМ). Особое внимание обращено на показатели, используемые социологами для выявления и оценки патриотизма респондентов, а также на методы получения необходимой информации.

Ключевые слова: патриотизм, Родина, страна, государство, гордость, любовь, индикаторы.

Введение

Патриотизм всегда был важнейшим элементом социально-политической и культурной жизни нашего народа. Стало закономерным обращаться к патриотическим чувствам граждан в моменты серьезных испытаний или кризисов нашего общества. Вот и сейчас руководители нашей страны вновь занялись патриотическим воспитанием российских граждан, и прежде всего, молодежи.

В феврале 2016 г. президент РФ В.В. Путин заявил о том, что «у нас нет никакой и не может быть никакой другой объединяющей идеи, кроме патриотизма» [1].

Одновременно правительство нашей страны утвердило государственную программу «Патриотическое воспитание граждан РФ на 2016–2020 годы», которая устанавливает направления

* Канд. ист. наук, доцент кафедры социологии, педагогики и психологии НГАСУ (Сибстрин)

работы и показатели оценки деятельности органов власти в этой области [2].

Нынешний подъем патриотизма вызывает особый интерес политиков, представителей власти, деятелей культуры, образования, и, конечно, ученых разных направлений. Опросы граждан, проводимые социологами ВЦИОМ, «Левада-центра», ФОМ и другими исследовательскими организациями, показывают очень высокий уровень патриотизма в нашей стране, 80 % респондентов считают себя патриотами, гордятся тем, что живут в России и самой Россией. Они же отмечают, что существенно меньше тех, кто готов своими делами помочь стране, защитить ее в трудное время.

Эмпирические наблюдения и данные социологических опросов позволяют усомниться в подлинности масштабов этого социального явления в России. Заметно преувеличена эмоциональная сторона патриотизма наших граждан. Она может носить кратковременный характер. Поэтому хочется выяснить, насколько наш патриотизм искренний, достоверный, наполненный не только чувствами, но и конкретными делами, т.е. подкрепленный самой жизнью наших граждан. Социологический взгляд позволяет точнее выявить характер и масштабы патриотизма в нашем обществе.

Социологи о патриотизме

В своих опросах социологи стремятся выяснить понимание патриотизма самими респондентами, их чувства, ощущения, настроение. Для нас представляет интерес не только то, что характеризует современные патриотические настроения людей, но и какой инструментарий используется социологами для их изучения, какова структура предлагаемых респондентам индикаторов, переменных для оценки патриотизма. Способны ли они отражать действительный патриотизм или только улавливают ситуативный эмоционально-психологический подъем настроений граждан, не подкрепленный какими-либо реальными, практическими действиями в их повседневной жизни.

Понимание патриотизма и перечень предлагаемых его показателей отличается у разных социологов. ВЦИОМ определяет

степень патриотизма респондентов на основе их самооощущения, чувств, испытываемых к своей стране, а также с помощью таких индикаторов как отправка своих родственников в армию и на фронт, оказание финансовой помощи государству в виде передачи всей заработной платы или ее части в военное время.

Социологи ВЦИОМ отмечают сохраняющийся в стране высокий уровень патриотизма, но его индекс после подъема 2014 г. несколько уменьшился с 74 до 62 % [3].

По их данным, 65 % респондентов поддержали бы решение своих близких пойти на войну, если возникнет необходимость. Но лишь 49 % опрошенных посоветовали бы своим родственникам пойти в армию, на фронт, а 16 % респондентов порекомендовали бы родственникам отправиться только в тыловые части, подальше от фронта. Оказать материальную помощь стране четвертью своей зарплаты и доходов согласились 39 % респондентов, меньше четверти готовы были отдать всего 17 %. Почти третья часть опрошиваемых (31 %) была не готова отдать часть своих доходов государству [3]. Как видим, полномасштабного патриотизма здесь не наблюдается.

Социологи «Левада-центра» многие годы проводят мониторинг патриотических чувств и настроений наших граждан. Они отметили рост числа респондентов, считающих себя патриотами, с 69 % (2013 г.) до 78 (2017 г.) [4]. Для оценки патриотизма они используют более широкий перечень показателей. На начальном этапе опросов социологи предлагали такие критерии патриотизма: служба в армии, любовь к своей стране, деятельность для ее процветания, обеспечение достойного будущего, защита страны от нападков и обвинений, считать свою страну лучше других, что у нее нет недостатков, говорить о стране правду, какой бы она ни была.

По данным опросов, за период с 2000 по 2014 г. стабильно высокой сохранялась любовь респондентов к своей стране – 58 и 68 %, но заметно уменьшились цифры других индикаторов. Например, численность респондентов, для которых «труд во благо страны» является примером патриотизма, уменьшилась

с 35 до 27 %, а желающих защитить страну от нападков и обвинений – с 24 до 18 % [5].

В 2015 г. социологи расширили перечень индикаторов патриотизма, добавив к имеющимся такие как гордость за свою страну, гордость за то, что живешь в России, отношение к власти и государству.

Прежде всего, опрос показал, что 80 % респондентов считают, что каждый человек должен сам для себя определять, что значит быть патриотом, и лишь 13 % согласились с тем, что государство должно определять патриотизм. Тем не менее две трети опрошенных отнеслись позитивно к идее принятия программы патриотического воспитания в нашей стране [6].

Динамика изменений и индикаторов патриотизма за период 2013–2017 гг. показывает, что количество тех респондентов, которые гордятся нынешней Россией, возросло с 53 до 67 %, а тех, которые гордятся тем, что живут в России – с 70 до 83 %. Соответственно уменьшилось число респондентов, которые не гордятся своей страной, – с 40 до 26 %.

Чем же гордятся россияне? Прежде всего природными богатствами (38,5 %), историей страны (37,8 %), спортивными достижениями (28,9 %), российской культурой (28,5 %), размерами страны (28 %), положением России на международной арене (23,6 %). Существенно меньше вызывают гордость у наших граждан вооруженные силы (14,3 %), современные достижения российской науки (13,6 %), сами сограждане (7,9 %), экономические успехи (5,4 %), система российского образования (5,2 %), здравоохранение (2 %) [4].

Нужно отметить, что перечень этих предметов гордости предлагают респондентам сами социологи. К тому же эти данные за 2014 г., к сегодняшнему дню ситуация по некоторым индикаторам изменилась в лучшую сторону. Об этом свидетельствуют ответы респондентов на вопрос о том, что их связывает со своим народом. В данном случае, речь шла о русском народе. Социологи получили ранжированный ряд показателей этой эмоциональной связи: история народа, его прошлое (46 %), земля, территория, на которой он живет (38 %), родная природа (28 %),

великие люди его национальности (23 %), язык его народа (21 %), военная мощь (21 %), душевные качества народа (18 %), государство, в котором он живет (17 %), песни, праздники и обычаи народа (14 %), родные могилы, памятники (12 %), религия, вера его предков (11 %), знамя, герб, гимн страны (9 %), трудолюбие, умение народа хозяйствовать (9 %) [4].

Социологи отметили снижение значимости государства, государственных институтов в жизни респондентов как предметов гордости и патриотизма (с 26 до 17 %), по причине невозможности влияния респондентов на происходящее в своей стране или городе [4].

Примечательно в приведенных данных то, что показатели социального развития нашего общества не являются предметом гордости наших граждан. Тем не менее, на вопрос о том, является ли Россия великой державой, согласилось в 2011 г. 47 % опрошенных, в 2015 г. – 65, в 2017 г. – 72 %. Несогласных было: 2011 г. – 46 %, 2015 г. – 25, 2017 г. – 22 % [4].

Социологи «Левада-центра» предложили ограниченный перечень предметов гордости за нашу страну. В нем не предлагается то, что улучшает нашу жизнь, наше самочувствие, укрепляет статус нашей страны, ее будущее и авторитет в современном мире. Среди предлагаемых предметов гордости мы не видим: уровня жизни, образования, социальной защищенности, уверенности в завтрашнем дне. Наши граждане почему-то не гордятся, например, соблюдением законов, норм морали, справедливостью общества, достижениями страны в различных областях современной жизни. Может быть, потому, что их нет или их не знают люди. Не говоря уже о государственной, политической системе, которая должна быть предметом гордости нашего народа и которая должна стоять на страже его интересов.

Граждане гордятся одним фактом существования нашей страны, ее размерами, богатствами, историей, но не достижениями, не успехами в жизненно важных сферах общества. Респонденты гордятся тем, что живут в нашей стране – России, но не тем, как они живут в ней, чего достигла Россия для каждого из нас и какой мы, граждане, внесли свой вклад в ее величие.

Респонденты гордятся страной, которая называется социальным государством, но в речах, выступлениях представителей власти и самих граждан даже не упоминается такое понятие, как справедливость. Кстати, этого нет и у социологов.

Более объективную «картину» патриотизма, на наш взгляд, представили социологи ФОМ. В отличие от социологов ВЦИОМ и «Левада-центра», они в своих omnibusных опросах использовали открытый вопрос о формах проявления патриотизма среди знакомых респондента за период с 2014 по 2017 г. Этот вопрос не задавался тем респондентам, у которых не было знакомых патриотов. Использование социологами ФОМ открытых вопросов дало больше информации, чем стандартизированные переменные у социологов ВЦИОМ и «Левада-центра». Полученные ответы полнее характеризуют формы проявления патриотизма в действительности. В опросах ФОМ, как и в опросах ВЦИОМ и «Левада-центра», отмечается высокий уровень патриотизма: 78 % респондентов считали себя патриотами (2017 г.) [7].

Результаты опросов ФОМ в 2014 и 2017 гг.

№ п/п	Если говорить о ваших знакомых, то в каких поступках, действиях проявляется их патриотизм? Приведите пример таких поступков*	Результаты опроса, %	
		2014 г. [8]	2017 г. [9]
1	2	3	4
1	Любят Родину, гордятся ею, преданы ей	15	5
2	Служба в армии, готовность защищать Родину	8	8
3	Нежелание уезжать за границу	6	6
4	Трудятся на благо Родины	5	4
5	Поддержка В.В. Путина и руководства страны	–	5
6	Проявляют социальную активность, активную гражданскую позицию, участвуют в делах страны	3	5
7	Доверяют власти, поддерживают ее	3	–
8	Поддерживают присоединение Крыма	3	–
9	Делают добрые дела, занимаются благотворительностью	3	4
10	Проявляют интерес к событиям в стране, их обсуждают	–	4

Примечание. * – открытый вопрос. Не задавался считающим, что никого из их знакомых нельзя назвать патриотами, – отвечали 84 % респондентов.

Окончание таблицы

1	2	3	4
11	Проявляют патриотизм в своих суждениях, разговорах	3	–
12	Проявляют порядочность, не нарушают законы, хорошо относятся к людям	2	–
13	Участвуют в выборах	2	3
14	Знают историю страны, поддерживают ее традиции, участвуют в памятных мероприятиях	2	1
15	Стойко переносят жизненные трудности	2	2
16	Заботятся о близких людях, воспитывают детей	2	–
17	Покупают отечественные товары, отдыхают в России	1	–
18	Болеют за российских спортсменов, поддерживают их.	1	1
19	Поддерживают отечественного производителя	–	2
20	Проявляют честность, порядочность	–	1
21	Воспитывают патриотизм в детях	–	1
22	Другое	1	2
23	Нет таких примеров	1	–
24	Затрудняюсь ответить, нет ответа	34	42
	Вопрос не задавался	16	9

Из приведенных в таблице данных видно, что за период 2014–2017 гг. число респондентов, которые любят и гордятся своей страной, значительно уменьшилось (с 15 до 5 %), а число тех, кто стал считать себя патриотом, возросло. Это парадокс социологии или самой жизни наших граждан, их культуры и сознания [8, 9].

Обращает на себя внимание рост числа опрошиваемых, которые не смогли назвать примеры патриотизма среди окружающих их людей, с 34 до 42 %. Другими словами, чуть меньше половины респондентов не видят каких-либо проявлений патриотизма у окружающих их людей, и это по сравнению с 80 % граждан, считающих себя патриотами.

В социопросе ФОМ 2017 г. из перечня индикаторов исчезли: «доверие к власти, ее поддержка», «присоединение Крыма», «проявление патриотизма в разговорах, суждениях людей», «честность, порядочность граждан, соблюдение ими законов», «забота о близких людях, воспитание детей», «покупка отечествен-

ных товаров, отдых в России». Зато появились новые индикаторы патриотизма: «поддержка В.В. Путина и руководства страны» (5 %), «интерес к событиям в стране» (4 %), «поддержка отечественного производителя» (2 %), «сохранение исторической памяти» (1 %) [9].

Из всего многообразия ответов респондентов нет ни одной позиции, которая получила бы их всеобщее признание и рассматривалась бы как проявление патриотизма в современной жизни людей. А те формы проявления патриотизма, которые увидели респонденты у окружающих их людей, составляют небольшой процент. Лишь половина выявленных позиций набирает по 4–8 % респондентов. Другая половина индикаторов получила статистически малозначимые величины – всего лишь по 1–2 %. К тому же не все из них могут рассматриваться как признаки патриотизма. Налицо умеренный разброс в знании и понимании респондентами форм проявлений патриотизма.

Рассматриваемые данные характеризуют весьма скромную социально-политическую активность граждан, явно не сопоставимую с количеством людей, считающих себя патриотами. В этом перечне индикаторов отсутствуют позиции, которые бы отражали патриотизм человека, проявляющего любовь к России своим трудом и жизненной позицией в конкретных ситуациях, способствующих процветанию и укреплению страны, ее народа.

Патриотизм предполагает не только эмоционально-чувственное восприятие свой страны, Родины, своего места в ней, но и совокупность действий, подтверждающих эти чувства на практике в своей повседневной жизни, в труде, на службе, в учебе, в личной жизни, в отношении ко всему происходящему в свой стране, к окружающим людям. Другими словами, патриотизм должен проявляться в чувствах, мыслях и делах гражданина своего Отечества. Просто считать себя патриотом недостаточно в настоящее время.

В своем опросе социологи ФОМ предложили респондентам набор индикаторов, с помощью которых можно было определить патриотов. При сопоставлении данных за 10 лет динамика весьма показательна. По мнению двух третей респондентов,

в 2006 г. патриотом мог быть человек, который равнодушен к природе родной страны (76 %), избегает службы в армии (69 %), не знает истории своей страны (70 %), а половина опрошиваемых соглашалась с тем, что патриоты могут не ходить на выборы (45 %), стремятся уехать за границу (56 %), критиковать власть (58 %), не знать текста гимна своей страны (51 %), предпочитают иностранную литературу и искусство (46 %). Через 10 лет картина поменялась существенным образом. Почти такое же количество респондентов отметили, что равнодушные к природе люди (69 %) не могут считаться патриотами, как и те, которые уклоняются от службы (65 %), не знают истории своей страны (48 %), стремятся уехать жить и работать за границей (48 %). Но по-прежнему половина респондентов патриотами считают тех, кто не ходит на выборы (51 %), не знает текст гимна своей страны (62 %), критикует власть страны (62 %), предпочитает иностранную литературу (58 %) [7]. Думается, такие показатели вряд ли могут выявить подлинный патриотизм человека.

В ходе опроса социологи выявили две важные особенности. Первая состоит в том, что большинство респондентов считают себя более патриотичными, чем их знакомые, а тем более незнакомые люди. Лишь 51 % респондентов видят, что патриотов в их окружении большинство, а остальные думают, что их меньше половины [7].

Другая особенность заключается в преувеличенной оценке респондентами нашего патриотизма. Они считают, что по сравнению с другими странами у нас особенный патриотизм, присущий только российским гражданам. Как отмечается в некоторых ответах опрошиваемых, у них – на Западе – патриотизм ложный или вообще отсутствует, а у нас он особенный, воспитанный, отличается большей любовью к своей стране и т.п.

Заключение

Сравнение результатов опросов свидетельствует о том, что чуть больше половины респондентов имеет весьма ограниченное представление о формах, способах проявления патриотизма, а более 40 % опрошенных вообще затруднились вспомнить ка-

кие-либо примеры патриотизма в повседневной жизни наших людей.

Наблюдаемый в нашей стране патриотизм является ситуативным, являющимся откликом на важнейшие политические события, решения, затрагивающие интересы многих россиян. Но он слабо подкреплен реальной практикой жизни наших граждан. Социологи выявили событийный психолого-эмоциональный подъем патриотических настроений людей, но не затронули его основную компоненту – деятельностную (поведенческую).

Характерная особенность сегодняшнего подъема патриотизма состоит в том, что он зиждется на нагнетании в сознании наших граждан военной опасности, терроризма, создании образа врага в лице Запада, но не каких-либо достижений в сфере экономики, социальной жизни людей. Надо бы гордиться тем, что Россию представляют не как угрозу миру, а как гаранта стабильности и противовес опасностям современной цивилизации.

Совокупность выбранных социологами индикаторов патриотизма не раскрывает в полной мере подлинный патриотизм наших граждан в их чувствах, мыслях и делах.

Используемый социологами инструментарий дает лишь номинальный уровень измерения, в то время как в изучении такой важной темы более уместным было бы использование шкал более сложного типа, в том числе установочных, включая семантический дифференциал.

Список литературы

1. *Путин: патриотизм – «это и есть национальная идея»* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tass.ru/politika/2636647> (дата обращения: 20.02.2018).
2. *О государственной программе «Патриотическое воспитание граждан Российской Федерации на 2016–2020 годы»* (с изм. на 13.10.2017) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.pravo.gov.ru (дата обращения: 29.01.2018).
3. *Патриотизм в России: если завтра война, если завтра в поход* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://wciom.ru/index.php?id=236&uid=115747> (дата обращения: 15.03.2018).

4. *Карина* Пипия. Гордость за страну и народ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.levada.ru/2017/12/21/17311> (дата обращения: 19.03.2018).
5. *Патриотизм* в представлениях россиян [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.levada.ru/2013/11/19/patriotizm-v-predstavleniyakh-rossiyan> (дата обращения: 22.03.2018).
6. *Патриотизм* и государство [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.levada.ru/2015/04/29/patriotizm-i-gosudarstvo> (дата обращения: 17.03.2018).
7. *Патриотизм* [Электронный ресурс] // База данных ФОМ. – Режим доступа: http://bd.fom.ru/report/map/az/%D0%A1%D0%82/projects/dominant/dom_0917/d091706 (дата обращения: 14.01.2018).
8. *О патриотизме* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://fom.ru/posts/11471> (дата обращения: 18.02.2018).
9. *Патриотизм: динамика мнений* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://fom.ru/TSennosti/13261> (дата обращения: 18.03.2018).

ВКЛАД ПОЛЯКОВ В РАЗВИТИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ 1890–1917 гг.

Л.К. Островский*

Объектом исследования являются представители польской диаспоры. Изучается их вклад в развитие строительной отрасли и архитектуры Западной Сибири. Актуальность данного исследования связана с возросшей ролью диаспор в жизни современного общества. История поляков в Западной Сибири является частью истории России. В настоящее время изучение российской истории, в том числе истории Сибири, невозможно представить без рассмотрения роли польской диаспоры в хозяйственном освоении Сибири, общественной жизни края, развитии его культуры. Особая роль в формировании архитектурного облика городов Западной Сибири принадлежит архитекторам Ивану Носовичу, Викентию Оржешко и Станиславу Хомичу. Поляки принимали участие в работе «Первого Западно-Сибирского товарищества извести и поргландцемента», сыгравшего большую роль в создании местной цементной промышленности.

Ключевые слова: поляки, строительство, архитектура, Западная Сибирь.

Введение

Изучение роли польской диаспоры в хозяйственном освоении Сибири, в том числе вклада поляков в развитие строительства и архитектуры края, актуально по нескольким причинам. Во-первых, изучение вклада народов России в освоение Сибири необходимо для осмысления исторического опыта освоения окраин. С другой стороны, переселение в Сибирь крестьян, рабочих, специалистов разных отраслей было одной из особенностей социально-экономического развития региона в конце XIX и начале XX столетия. Здесь особенно остро чувствовалась нехватка специалистов: врачей, педагогов, научных работников, архитекторов и инженеров. Поэтому большое значение имела деятельность на этом поприще поляков, добровольно переселившихся в Сибирь или политических ссыльных и их потомков. Наконец,

* Д-р ист. наук, профессор кафедры истории и философии НГАСУ (Сибстрин)

актуальность такого изучения продиктована важностью российско-польских отношений в истории обеих стран.

Несмотря на это, исследований такого сорта в отечественной историографии крайне мало. Целью данной работы является изучение вклада представителей польской диаспоры Западной Сибири в развитие архитектуры и строительной отрасли края. Предполагается решить две задачи: определить круг специалистов-архитекторов, представлявших польскую диаспору, и дать характеристику их вклада в развитие архитектуры и строительной отрасли региона. Здесь в научный оборот вводятся новые источники, показывающие участие поляков в развитии строительства и архитектуры края. В связи с этим необходимо упомянуть работы историков, которые не посвящены непосредственно проблемам пребывания поляков в Сибири, но содержат фактический материал, касающийся данной темы. Важные биографические данные об архитекторах Томска, среди которых поляки составляли значительную часть, содержит работа В.Г. Залесова [1]. Появились публикации, посвященные персоналиям, в том числе и архитекторам [2].

Фактические данные

По данным переписи 1897 г., ремонтом, содержанием жилищ и строительными работами в Томской губернии было занято 92 поляка, что вместе с членами семьи составляло 2 % польского населения губернии. В Тобольской губернии данным видом деятельности было занято тоже 92 человека, вместе с членами семьи 154 человека, или 2,7 % польского населения губернии [3, 4].

Строительство являлось важной частью сибирского хозяйства. Строились железные, грунтовые, шоссейные дороги, промышленные предприятия, устраивались переселенческие участки, втрое вырос жилой фонд городов. Все это требовало большого количества леса, и лесозаготовки из крестьянского промысла становились предметом предпринимательства казны и частных лиц [5].

Купец 2-й гильдии, повстанец 1863 года Ян Андреевич Печокас в 1898–1901 гг. вел в Тобольске торговлю лесом. Он про-

исходил из дворян Сувалкской губернии. Умер Ян Печокас в Тобольске 10 июля 1913 г. в возрасте 83 лет [6]. Затем торговлей начали заниматься его сыновья, Александр, Константин и Петр.

Как отмечал Сибирский торгово-промышленный ежегодник, в начале XX века быстро рос город Омск, где «появляются красивые каменные здания» [7]. Здесь с 1900 г. в качестве строительного подрядчика работал Александр Янович Печокас, родившийся в Тобольске в 1875 г. Одновременно он являлся действительным членом Польского благотворительного римско-католического общества [8].

В 1911–1916 гг. А.Я. Печокас вел в Омске торговлю цементом, известью, другими строительными материалами и заведовал складом, с которого шла торговля каменным углем Судженских копей. В это же время (1912–1915 гг.) в Тобольске существовала торговая фирма «Печокас Мария Семеновна и Константин Иванович». Мария Семеновна Печокас, в девичестве Антонович, происходила из мещан города Тобольска. Семья Печокас в 1905–1913 гг. владела в Тобольске паровым лесопильным заводом, которым заведовал Константин Печокас. В Сибири все лесопильные предприятия являлись фабриками и были оснащены паровыми двигателями [9].

Семья Печокас стремилась оказывать помощь католическому приходу Тобольска. Так, братья Петр и Константин Печокасы принимали участие в строительстве плербании при католическом костеле [10].

В начале XX века владельцы томской строительной-технической конторы инженеры Цезарий Цезаревич Любинский и Эдвард Иосифович или Эдуард Осипович Векер впервые в городе стали применять железобетонные конструкции в строительстве, в частности, при возведении здания университетской библиотеки. Фирма «Ц. Любинский и Э. Векер» существовала в Томске с середины 1900-х годов. Этой фирмой были запроектированы и построены: железобетонные перекрытия в здании Сибирского торгового банка, мельница для торгового дома «Е. Кухтерин и С-я». Инженеры фирмы выполнили несколько

заказов для «Первого Западно-Сибирского товарищества извести и портландцемента» [1]. Самым известным сооружением данной фирмы является железобетонный Думский мост через реку Ушайку, построенный в 1915–1916 гг. [12]. Предприятие Любинского и Вевера выполняло также работы по проведению водопровода и канализации.

Эдуард Вевер приехал в Сибирь в 1905 г. Вместе с женой Клотильдой принимал активное участие в жизни польской колонии Томска [9].

Строительство Сибирской железной дороги потребовало создания местной цементной промышленности. Яшкинский цементный завод начал работу в 1913 г. Его предтечей считается известковый завод [13]. 28 июля 1911 г. в Томске был зарегистрирован договор «Первого Западно-Сибирского товарищества извести и портландцемента» [13]. Кроме инженера З.М. Джурича и «ковровского мещанина» М.Г. Головина, основателями товарищества были рудничный инженер Цезарий Цезаревич Любинский, инженер-технолог Владислав Осипович Вевер, инженер-механик Густав Осипович Вевер, инженер-технолог Эдуард Осипович Вевер и Мария Юлиановна Любинская – жена Ц. Любинского. Однако М. Любинская не являлась вкладчицей. Все вышеназванные, кроме Любинской, являлись «полными товарищами с неограниченной ответственностью». Товарищество ставило целью производство извести, портландцемента, огнеупорных строительных материалов и торговлю ими [14].

Для ведения дел товарищества избиралось правление. Главное управление товарищества находилось в Томске. Общее наблюдение за ходом дел товарищества принадлежало как полным товарищам, так и вкладчикам, которые собирались на общие и экстренные собрания [14]. Главную роль в товариществе в период организации играли Джурич и Головин. Состав товарищества был неоднородным, начиная от «свободного художника» Берты Семеновны Коварской. Любинский привлек в товарищество брата Владислава Любинского и сестру Марию Цезаревну Вегнерович. Кроме трех братьев Вевер в него входили и их отец

доктор Осип Альбинович Векер, и жена одного из братьев Мария Людвиговна Векер [13].

Среди получателей цемента с Яшкинского завода значится «Товарищество инженеров Ц.Ц. Любинский и Э.О. Векер», которое занималось производством строительных работ в Томске и Новониколаевске. В Новониколаевске этим товариществом в 1913 г. построен туннель-путепровод из монолитных железобетонных конструкций под линией железной дороги, служащий транспортным путем из прибрежной части города к центру. В этом же году Любинский и Векер строят для торговца дома «Евграф Кухтерин и сыновья» шестиэтажное железобетонное здание мельницы [13].

Яшкинский завод занял монопольное положение за Уралом, так как цементное производство в Сибири было развито слабо, здесь существовало всего несколько цементных заводов. Цемент в 1914–1915 гг. предприятие поставляло в Томск, Новониколаевск, Омск, Барнаул, Красноярск, Читку и Иркутск, крупнейшим потребителем продукции являлась железная дорога [14].

Поляки, по нашим данным, составляли более 27 % пайщиков «Первого Западно-Сибирского товарищества извести и портландцемента». В 1914 г. управляющим цементным заводом был А.А. Тржецяк, которому было выдано добавочное вознаграждение «за усиленные труды по развитию завода и инструктированию новых служащих и мастеров по производству взамен призванных на войну в 1914 г.» [14].

За 1916 г. предприятие продало 140 344 бочки цемента и 518 598 бочек извести. Однако в отчете за период с 1 января по 1 декабря 1916 г. отмечалось, что вследствие «слабой подачи вагонов под нагрузку, отправка наших фабрикатов значительно сократилась, и отправка цемента производилась преимущественно Кольчугинской железной дороге» [14]. В 1917 г. предприятие начинает испытывать трудности. В докладе правления общему собранию 21 января 1917 г. отмечалось, что «массового ухода рабочих не предвидится, так как большинство рабочих состоит из военнообязанных, получивших отсрочку призыва и военнообязанных инородцев». Однако далее отмечалось, что

предприятие не может рассчитывать «на громадный спрос цемента в 1917 г., поскольку частное строительство совершенно прекратилось» [14].

На собрании пайщиков 28 декабря 1917 г. отмечалось, что задержка в исполнении заказов происходит вследствие полного расстройтва железнодорожного транспорта. С 27 октября в сторону запада не было отправлено ни одного вагона цемента. Обострился продовольственный вопрос. По сравнению с городом Томском для пропитания служащих, рабочих и их семей имелось достаточное количество хлеба, мяса, сала и масла. Однако в докладе отмечалось, что дальнейшее заготовление продовольствия в связи с расстройством железнодорожного транспорта станет невозможным, и делался вывод о неизбежной остановке заводов [14]. Что касается дальнейшей судьбы предприятия, то 11 февраля 1920 г. известковый и цементный заводы были национализированы советской властью [1].

Большую роль сыграли представители польской диаспоры и в развитии архитектуры городов Томской губернии. К примеру, из 103 архитекторов, которые работали в Томске в XIX – начале XX века, 12 человек были поляками (11, 6 %) [1].

Государственная архитектурно-строительная служба в Томской губернии, в которой работало немало поляков, в конце XIX – начале XX века была представлена строительной и дорожной комиссией (1859–1886 гг.), а в 1886–1917 гг. – строительным отделением. В это же время в Томске работала большая группа архитекторов польского происхождения: И. Буковецкий, Н. Збаржевский, П. Наранович, К. Заранек, А. Сабек, В. Сухоровский, Б. Татарчух [15].

Среди архитекторов польского происхождения находился сын ссыльного повстанца 1863 г., Викентий Флорентинович Оржешко. Он родился в Томске в 1876 г. в семье врача Ф.Ф. Оржешко [11]. С 1902 г. Викентий Оржешко после окончания Высшего художественного училища Императорской Академии художеств занимался частной архитектурной практикой в Томске. Он исполнял обязанности архитектора при Томской Духовной консистории, занимался проектированием и надзором за строи-

тельством православных храмов в Томской губернии [16]. В Томске по его проекту были построены часовня на могиле старца Федора Кузьмича, здание Сибирского товарищества печатного дела, Мухинобугорское начальное училище, кожевенный завод «Г. Голованов и сыновья», собственный дом архитектора по Офицерской улице и разбит по его проекту Народный сад императора Александра II. В апреле – июне 1911 г. Оржешко исполнял обязанности томского городского архитектора [2].

Центром художественной жизни Томской губернии стало «Томское общество любителей художеств», которое было создано по инициативе группы художников. В 1908–1909 гг. выставочная деятельность Общества стала средоточием духовных интересов интеллигенции губернии. В выставках активное участие принимал Викентий Оржешко, который был избран членом первого правления Общества и его секретарем [1].

Из 16 архитекторов польского происхождения, которые работали в Западной Сибири на рубеже XIX–XX века, по нашим подсчетам, половину составляли выпускники Петербургского института гражданских инженеров. К примеру, Константин Антонович Заранек воспитывался в Пажеском Его Императорского Величества корпусе Строительного училища, а в 1885 г. окончил Институт гражданских инженеров в Петербурге. С 1892 по 1893 год Заранек работал дорожным техником на Сибирском тракте, затем служил на Сибирской железной дороге. В 1895 г. он работал по найму в фирме «Технико-промышленное бюро», в качестве агента фирмы в 1895 г. исполнял обязанности городского архитектора. Инженер-архитектор Заранек в 1894 г. являлся реконструктором Томского римско-католического костела. В 1902 г. он был избран в число директоров Томского отделения Императорского русского музыкального Общества и исполнял в нем должность казначея.

В 1891 году начал свою карьеру в строительном отделе Томского губернского управления в качестве младшего инженера титулярный советник Станислав Викентьевич Хомич. Хомич родился в 1864 г. в Киевской губернии в дворянской семье, в 1891 г. окончил Институт гражданских инженеров. Сразу по-

сле окончания института Хомич был направлен в Строительное отделение Томского губернского управления, где работал младшим инженером до 1897 г. В 1892 г. Хомич составил проект перестройки и расширения Римско-католической церкви [17]. В 1897–1903 гг. уже статский советник Хомич занимал должность губернского архитектора, а в 1903–1914 гг. – губернского инженера и архитектора в строительном отделении Томского губернского управления [18]. За добросовестную службу Хомич был награжден орденами Св. Станислава II и III степеней и Св. Анны III степени. В Томске Хомич занимался строительством и ремонтом тюремных зданий, в том числе пересыльной тюрьмы. С 1897 г. в течение 11 лет Хомич исполнял обязанности епархиального архитектора. Под его наблюдением были построены храмы в Барнауле, Бийске, селе Вьюнское, Верхне-Ануйске, в селах Усть-Камень и Спасское Каинского уезда [11].

Особая роль в формировании архитектурного облика городов и сел Алтая принадлежит архитектору Ивану-Каликсту Носовичу, который приехал в Барнаул в 1899 году и служил техником по строительной и дорожной части Алтайского округа. Он происходил из дворян Волынской губернии и родился в 1862 г. После окончания Института гражданских инженеров императора Николая I в 1889 г. Носович был назначен на должность младшего архитектора Строительного отделения при Управлении Приамурского генерал-губернатора. В феврале 1893 г. Носович произведен в чин титулярного советника, а 6 ноября 1893 г. назначен на должность архитектора в Семипалатинскую область. С 1897 г. он заведовал ирригацией в Семиреченской области [19].

С 24 марта 1899 г. коллежский асессор Носович был переведен на службу в Алтайский округ в качестве техника по строительству и дорожной части, где работал до 1909 г. Жалование инженера Носовича в 1909 г. составляло 2200 руб., а семья состояла из жены и дочери. С февраля 1911 г. Носович временно исполнял обязанности Томского губернского архитектора. В то время было необходимо наблюдение за строительством городской заразной больницы в Барнауле, скотобойни и частных по-

строек. Городская управа Барнаула 8 февраля 1912 г. назначила И.Ф. Носовича на должность городского архитектора, которую он исполнял до 1915 г. [20].

В 1902 г. английский футуролог Эбинер Говард выпустил книгу «Города-сады будущего». Идея Говарда получила широкое распространение в русском градостроительстве начала XX века. В 1913 г. в Петербурге было организовано Русское общество городов-садов, целью которого стала пропаганда улучшения жилищных условий [21]. В начале XX века в Барнауле и Бийске возникли сибирские отделения «Русского общества городов-садов», поддержанные гражданскими инженерами и краеведами, в том числе Носовичем [22]. В октябре 1917 г. после грандиозного пожара в Барнауле в городскую Думу был представлен проект города-сада, разработанный Носовичем. Территорию, выделенную под город-сад, начали застраивать в 1918–1919 гг., но в силу экономических трудностей проект не был завершен [23].

Заключение

В данной статье выделены лишь основные лица из польской диаспоры, игравшие в указанный период важную роль в развитии строительства в регионе. Подчеркнем еще раз, в становление строительной отрасли в Тобольске и Омске большую роль сыграла семья Печокас. Среди строительных предприятий Томска в начале XX века фирма «Ц. Любинский и Э. Векер» была одной из ведущих. Одним из первых предприятий по производству цемента в Сибири являлось «Первое Западно-Сибирское товарищество извести и портландцемента», где поляки составляли почти третью часть пайщиков. Значительной была доля поляков и среди архитекторов Западной Сибири. В населении Томской губернии в начале XX века поляки составляли 0,3 %, а среди архитекторов Томска – 11 %. В развитие архитектуры городов Западной Сибири внесли свой вклад выдающиеся мастера Викентий Оржешко, Станислав Хомич и Иван Носович.

Список литературы

1. *Залесов, В. Г.* Архитекторы Томска (XIX – начало XX века). – Томск : Томский гос. архитектур.-строит. ун-т, 2004. – 170 с.
2. *Туманик, А. Г.* Ожешко Викентий Флорентинович // Историческая энциклопедия Сибири. – Новосибирск, 2009. – Т. II. – С. 533.
3. *Первая* Всеобщая перепись населения Российской империи, 1897 г. LXXIX. Томская губерния. – Санкт-Петербург, 1904. – 245 с.
4. *Первая* Всеобщая перепись населения Российской империи, 1897 г. LXXVIII. Тобольская губерния. – Санкт-Петербург, 1905. – 247 с.
5. *Зиновьев, В. П.* Индустриальные кадры старой Сибири. – Томск : Томский ун-т, 2007. – 258 с.
6. *Государственный* архив в г. Тобольске. – Ф. 156. – Оп. 15. – Д. 725.
7. *Сибирский* торгово-промышленный ежегодник. 1913. – Санкт-Петербург : Тип. т-ва «Наш Век». Изд. Д. Р. Юнг, б. г. – XXII, 570 с.
8. *Государственный* архив Новосибирской области. – Ф. Р-1. – Оп. 3. – Д. 168.
9. *Рабинович, Г. Х.* Крупная буржуазия и монополистический капитал в экономике Сибири конца XIX – начала XX вв. / Г. Х. Рабинович. – Томск : Томский гос. ун-т, 1975. – 327 с.
10. *Masiarz, W.* Dzieje kościoła i polskiej diaspory w Tobolsku na Syberii. 1838–1922. – Kraków : Wydaw. i poligrafia Zakonu Piarów, 1999. – 201 s.
11. *Поляки* в Томске (XIX–XX вв.) : биографии / автор-составитель В. А. Ханевич. – 2-е изд., доп. – Томск : Томский гос. пед. ун-т, 2015. – 686 с.
12. *Скворцов, Г. В.* Участие поляков-томичей в формировании архитектурного образа Томска в период XVII – первой четверти XX веков // Сибирская полония: прошлое, настоящее, будущее : материалы Международной научно-практической конференции. – Томск, 1999. – С. 63–67.

13. *Семка, Б. И.* Производство и сбыт цемента в Западной Сибири накануне и в годы первой мировой войны // Торговля городов Сибири конца XVI – начала XX в. – Новосибирск, 1987. – С. 143–170.
14. *Государственный архив Новосибирской области.* – Ф. Д-84. – Оп. 1. – Д. 1.
15. *Ханевич, В. А.* К истории польской колонии Томска конца XIX – начала XX века // Польская интеллигенция в Сибири XIX–XX вв. : сб. материалов межрегиональных тематических чтений «История и культура поляков Сибири» 2006–2007 гг. – Красноярск, 2007. – С. 119–125.
16. *Ханевич, В. А.* Католики в Кузбассе (XVII–XX вв.) (очерк истории, материалы и документы). – Кемерово, 2009. – 348 с.
17. *Сибирский* торгово-промышленный и справочный календарь на 1894 год / издание Ф. П. Романова. – Томск : Типо-литография П.И. Макушина, 1893. – IV, 304, 66 с.
18. *Памятная книжка* Томской губернии на 1914 год. – Томск : Тип. Губ. управления, 1914. – 105 с.
19. *Государственный архив Алтайского края.* – Ф. Д-4. – Оп. 1. – Д. 145.
20. *Государственный архив Алтайского края.* – Ф. 219. – Оп. 1. – Д. 25.
21. *Степанская, Т. М.* Служили Отечеству на Алтае: Книга для чтения по художественному краеведению. – Барнаул : Пикет, 1998. – 136 с.
22. *Степанская, Т. М.* Сад в сибирском городе XIX – начала XX столетий // Современное историческое сибиреведение XVII – начала XX вв. : сб. научных трудов / под ред. Ю. М. Гончарова. – Барнаул, 2005. – С. 323–328.
23. *Поляков, О. Н.* Город-сад // Барнаул. Энциклопедия. – Барнаул : Алт. гос. ун-т, 2000. – С. 83.

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ РЫНКА ЖИЛЬЯ В НОВОСИБИРСКЕ

А.А. Шерстяков^{*}, Т.В. Сидорина^{}**

Рассмотрены актуальные вопросы рынка жилья в Новосибирске, на котором действуют десятки застройщиков. У каждого из них свои стратегии, свои матрицы деятельности, свой потенциал, мощности и перспективы развития. Их всех объединяет рынок жилья на определенной территории, который, при относительной стабильности, достаточно непредсказуем и уязвим. Исследование индивидуальной стратегии застройщиков в обеспечении жильем способствует видению направлений рынка жилья в Новосибирске.

Ключевые слова: рынок жилья, застройщик, перспективы развития.

Введение

Актуальность рассматриваемой научной проблемы состоит в том, что в государственной программе Новосибирской области «Стимулирование развития жилищного строительства в Новосибирской области на 2015–2020 годы» спрогнозировано, что к 2020 г. годовой объем ввода жилья на территории Новосибирской области достигнет 2200,0 тыс. м², в том числе в Новосибирске – 1395 тыс. м². Прирост жилья в городе Новосибирске обозначен следующим образом: с 2015 по 2020 годы – по 130 тыс. м² [1].

В 2014 и 2015 годах фактические объемы ввода жилья в Новосибирской области опережали прогноз по Программе на 36–41 %. Но в 2016 году имела место негативная динамика – объемы ввода жилья снизились на 15,5 %. В условиях спада на рынке жилья особенно актуальным становится понимание застройщиками особенностей формирования стратегий конкурен-

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

^{**} Д-р пед. наук, профессор кафедры управления, социологии и экономики НГАСУ (Сибстрин)

тов, что способствует более сбалансированным действиям каждого из них. Этой проблеме посвящено наше исследование.

Постановка задачи

Объект исследования: рынок жилья в городе Новосибирске.
Предмет исследования: строительные компании, планирующие сдачу в эксплуатацию жилых объектов в Новосибирске в период с 2015 по 2018 годы.

Цель исследования: изучить стратегические позиции застройщиков на примере 25 компаний Новосибирска.

Выборка исследования состоит из двух категорий застройщиков:

- 1) застройщики, входящие в список крупнейших компаний на рынке, согласно статистике ввода жилья за предыдущие 9 лет;
- 2) застройщики-новички рынка, активно ведущие строительную деятельность.

По данным Росстата об общем объеме ввода в действие жилых домов, Новосибирск и Новосибирская область занимают среднюю позицию среди 12 регионов (рис. 1, 2).

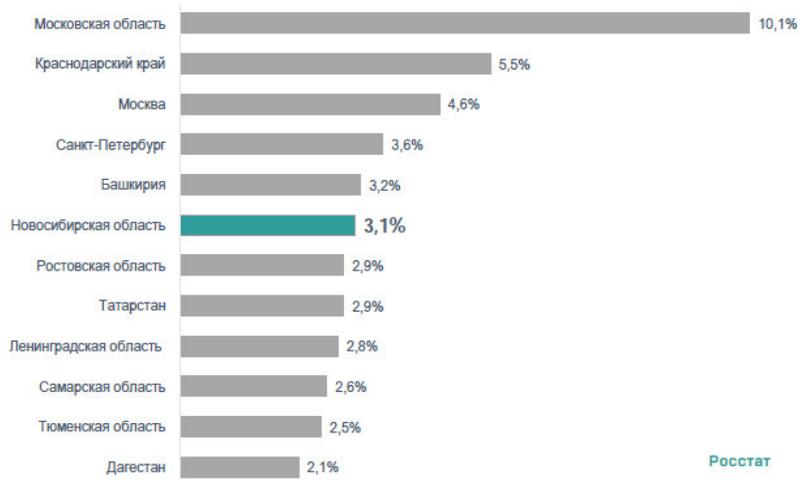


Рис. 1. Доли регионов РФ в общем объеме ввода жилых домов (составлено по данным [2])

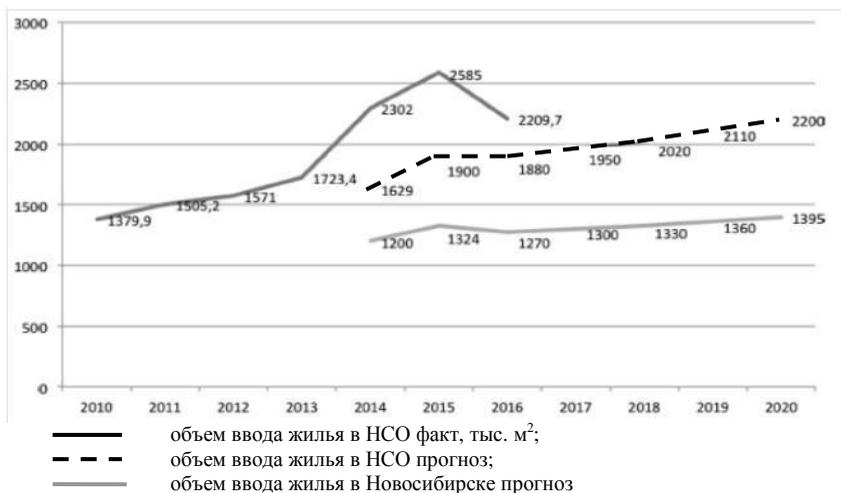


Рис. 2. Фактические и прогнозируемые объемы ввода жилья в Новосибирской области (по данным министерства строительства НСО [1])

Результаты расчетов

Выявим доли наиболее значимых застройщиков жилья. Рассмотрим их по такому показателю, как объем ввода жилья по годам (с 2006 по 2014 год). Ранжирование застройщиков (вошедших в первую десятку в соответствующий год) – по объему ввода жилья за последние 9 лет и за предыдущие 3 года (табл. 1, рис. 3, 4).

Рисунки отражают долю застройщиков на рынке, которая рассчитывалась как отношение объемов работ за 3 или 9 лет к общему объему ввода жилья в Новосибирске.

Некоторые крупные строительные компании, взятые из исходной выборки (за 9 лет), в настоящий момент не активно занимаются строительной деятельностью, поэтому они исключены из списка.

Также, согласно теории М. Портера, добавлены «новички» рынка жилья.

Таблица 1

Объемы ввода жилья крупнейших застройщиков Новосибирска

Застройщики	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	∑ за 9 лет	∑ за 3 года
«Дискус»	54493	48600	55753	23234	138840	201331	66640	76601	53875	719367,18	197116,18
«Сибирь»	33903	80000	98955	9284	75876	76628	98570	124236	89358	686810	312164
«Энергомонтаж»	66173	34100	112841	101328	40624	47852	50911	21000	68912	543741	140823
«КМС-Строй»	25134	36900	19308	48409	33818	0	49556	53728	48940	315793	152224
«КПД Газстрой»	0	0	7119	28855	55689	53755	82833	43912	40396	312559	167141
«Первый СФ»	20455	26984	56946	9442	31115	0	42317	42509	9390	239158	94216
«САС»	6484	14900	11492	0	20374	3400	28363		118032	203045	146395
«ПТК-30»	0	27254	8944	0	11960	37643	23591	44511	46000	199903	114102
«Строймастер»	33100	21630	23340	5309	0	28352	0	57001	7005	175737	64006
«Стройинвестпроект»	24969	0	24080	25952	2790	21334	0	13590	21597	134312	35187
«Русь»	14425	15360	16136	8539	12108	12108	12108	12108	12108	115000	36324
«Альфа Капитал»	0	9202	0	36926	26282	12600	0	16840	11950	113800	28790
«РГНС»	0	7922	0	0	26233	0	20886	12389	44773	112203	78048
«Метаприбор»	0	10647	17017	0	12179	0	0	31488	35233	106564	66721
«ЗАО Строитель»	13617	28422	6624	7990	4115	0	0	30417	13466	104651	43883
«Стройтрест 43»	4599	20657	0	10284	11734	9828	0	12412	34766	104280	47178
«СССР»	3077	13621	15876	10688	13241	0	0	11000	18278	85781	29278
«Ви́ра-Строй»	0	0	0	0	0	0	4200	9450	62482	76132	76132
«Уникон»	0	12209	50591	0	0	0	0	2845	2047	67692	4892
«Дом-Строй»	0	7529	6361	13680	0	0	4300	11875	18640	62385,438	34815,4382
«Союз-10»	0	0	22355	0	23274	0	0	5564	7210	58403	12774
«Академжилстрой»	0	0	0	0	55572	0	0	0	0	55572	0
«Новосибвузстрой»	5760	18102	19958	5010	0	0	0	0	0	48830	0
«НЖС-2»	0	0	8579	17565	14120	0	0	0	0	40264	0
«Стройхолдинг»	0	10487	21984	0	6022	0	0	0	0	38493	0
«Капитал-Инвест»	9568	9888	0	13900	0	0	0	0	0	33356	0

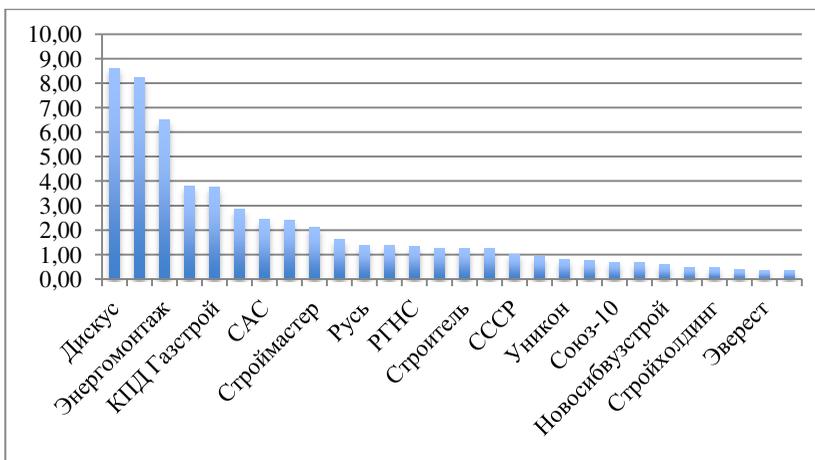


Рис. 3. Доля застройщиков на рынке жилья за предыдущие 9 лет

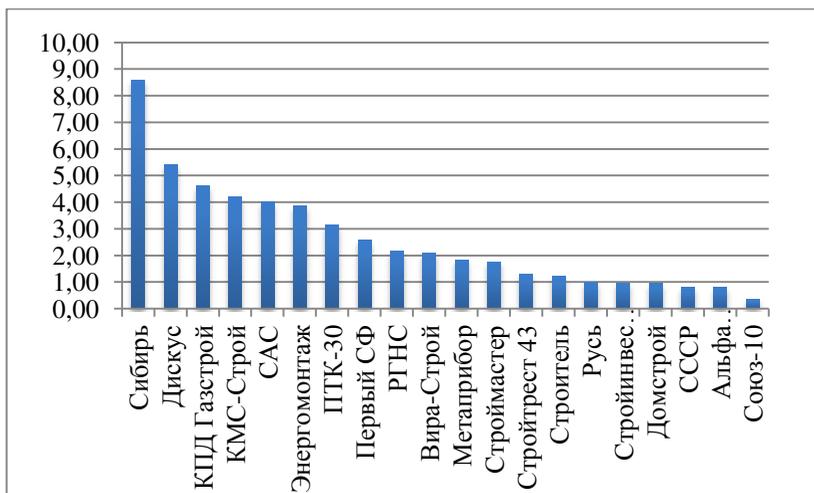


Рис. 4. Доля застройщиков на рынке жилья за предыдущие 3 года

В нашей работе мы будем придерживаться классификации стратегий по М. Портеру. Она включает четыре основные стратегии [3].

1. *Лидерство по издержкам*, как базовая стратегия опирается на производительность. Она подразумевает тщательный контроль над постоянными расходами, направленными на скрупулезную проработку конструкции новых товаров, понижение сбытовых и рекламных издержек [4].

Поэтому в центре внимания такой стратегии – низкие издержки по сравнению с конкурентами, когда организация способна противостоять им даже в случае ценовой борьбы и в состоянии получать прибыль при цене, минимально допустимой для конкурентов [5].

Быть самой экономной компанией в отрасли – непростая задача, так как для этого необходимо использовать самое современное оборудование и достигать максимальной автоматизации процессов. Кроме того, чтобы иметь низкие издержки, компании придется обслуживать много разных сегментов рынка, поскольку большие масштабы производства уменьшают издержки [6].

2. Целью *стратегии дифференциации* является придание товару отличительных свойств, важных для покупателя, которые выгодно отличают товар от предложений конкурентов.

Дифференциация может принимать различные формы: признанное технологическое совершенство, внешний вид, послепродажный сервис [7]. По отношению к прямым конкурентам дифференциация снижает заменимость товара, усиливает приверженность марке, уменьшает чувствительность к цене и тем самым повышает рентабельность.

3. Смысл *стратегии рыночной ниши на основе низких издержек* состоит в том, чтобы сфокусировать внимание на сегменте рынка, удовлетворяющем нужды и запросы потребителей за счет низкой цены [4].

4. *Стратегия рыночной ниши за счет дифференциации* фокусирует внимание на верхнем ценовом сегменте, предлагая товар с особенными качественными характеристиками.

Приверженность клиентов затрудняет приход на рынок новых конкурентов. Повышенная рентабельность увеличивает устойчивую к возможному росту издержек в результате действий сильного поставщика, а отличительные свойства товара и завое-

ванная приверженность клиентов защищают фирму от товаров-заменителей [8].

Несмотря на то, что наличие отличительных качеств требует высоких издержек, успешная дифференциация позволяет фирме добиться большей рентабельности за счет того, что рынок готов принять более высокую цену. Однако такая стратегия несовместима с целью завоевания большой доли рынка, поскольку большинство покупателей может быть не склонно платить повышенную цену даже за хороший товар.

Товаром, предлагаемым застройщиками, являются квартиры, параметрами которых являются площадь, количество комнат, планировка, цена. Для всего объекта можно выделить такие параметры, как коэффициент застройки, обеспеченность парковками (относительно количества квартир), высота потолка, наличие комплексной застройки, инфраструктура района, наличие чистовой отделки. Под объектом понимается отдельный жилой дом или квартал (микрорайон), застроенный однотипными жилыми домами с одинаковыми параметрами [9, 10].

Под стратегией позиционирования понимается инструмент реализации стратегии дифференциации. Карта позиционирования представляет собой метод схематического отображения восприятия потенциальными клиентами продукта по отношению к конкурирующим продуктам. Карта представляет собой графическую схему на основе двухмерной системы координат. Оси координат соответствуют двум выбранным для построения карты областям конкуренции.

Выбор областей конкуренции осуществляется в зависимости от целей анализа, по факторам выбранного сегмента рынка [11, 12].

На рис. 5, 6 показаны четыре квадранта, которые соответствуют четырем стратегиям по М. Портеру. Размер окружностей пропорционален параметру средней дифференциации. Карта наглядно показывает соответствие структуры рынка портеровским стратегиям.

Верхний правый квадрант соответствует стратегии лидерства по издержкам, в него попали компании с наибольшими долями на рынке, такие как «Сибирь», «КПД Газстрой», «ПТК-30», «Вира-Строй», «Стройтрест 43», «Стройинвестпроект». Лидеры по издержкам комплексно застраивают отдаленные районы, но их цены – ненамного ниже средних по рынку (за исключением компании «Дискус»). Обусловлено это ростом издержек из-за необходимости развития инфраструктуры районов, а также специфической структурой предложения с преобладанием квартир-студий малой площади (в которых стоимость квадратного метра более высокая, чем в квартирах большей площади). Вследствие этих двух особенностей позиции большинства лидеров по издержкам уязвимы: у них отсутствует возможность значительно снизить цены и гибко изменять характеристики предложения (в силу типового характера массовой застройки). Следовательно, в период кризиса для сохранения доли на рынке они будут вынуждены переходить к стратегии широкой дифференциации.

Верхний левый квадрант формируют компании, использующие стратегию широкой дифференциации – предлагающие жилье в разных ценовых сегментах и в разных районах. Средняя цена при этом оказывается выше, при сохранении высокой доли на рынке. В период кризиса широкая дифференциация дает значимые преимущества: при неравномерном сокращении сегментов рынка позволяет сохранять общие стратегические позиции.

Нижний левый квадрант представлен застройщиками, использующими стратегию рыночной ниши на основе дифференциации. Они застраивают в основном центр и (или) близкие к центру районы. В силу ограниченности и уникальности предложения, они практически не испытывают влияния кризисных явлений.

Оценим долю застройщиков, использующих каждую из стратегий [13] (табл. 2).

К числу представителей «других стратегий» относятся застройщики, обладающие особыми позициями.

Таблица 2

Распределение долей застройщиков по стратегиям

Стратегия	Доля застройщиков, использующих стратегию, %
Лидерство по издержкам	26,11
Широкая дифференциация	17,7
Рыночная ниша на основе дифференциации	10,08
Рыночная ниша на основе низких издержек	5,42
Прочее	40,69

Заключение

Таким образом, в результате исследования выявлены следующие стратегические векторы застройщиков в Новосибирске и НСО:

- представлена динамика рынка и прогноз до 2020 года ввода жилья;
- проведен анализ возможностей застройщиков Новосибирска, выявлены их стратегические позиции, установлены наиболее значимые;
- выявлены типичные позиции застройщиков Новосибирска:
 - 1) «уязвимое» лидерство по издержкам. Отдаленные и средней отдаленности районы, инфраструктура слабая, цены близкие к средним. В эту категорию входят «Сибирь», «КПД Газстрой», «ПТК-30», «Вира-Строй», «Стройтрест 43», «Стройинвестпроект»;
 - 2) лидерство по издержкам – «Дискус». В отличие от «уязвимого» лидерства по издержкам – наименьшие издержки и цены при высокой доле на рынке;
 - 3) широкая дифференциация: «КМС», «Строймастер», «Первый строительный фонд», «ЗАО Строитель». Более высокие цены, строительство в центральных, среднеотдаленных районах с развитой инфраструктурой либо в престижных отдаленных районах;

- 4) типичная рыночная ниша на основе дифференциации качества: «Дом-строй», «Русь», «СССР», «Гаммастрой», «Сибирь Девелопмент», «Химметалл», «Строительный трест № 1», «ПАМП», «ГК Новосел», «СК Интерстрой». Центр или районы средней отдаленности с развитой инфраструктурой, за исключением «Русь» и «Интерстрой», где дифференциация происходит за счет экологической зоны застройки;
 - 5) рыночная ниша за счет дифференциации по району – «Энергомонтаж». Отдаленные районы, развитая инфраструктура, цена выше средней за счет чистовой отделки;
- установлено, что для сохранения высокой доли на рынке лидерам по издержкам будет необходимо переходить к стратегии широкой дифференциации, в то время как компании, использующие стратегию рыночной ниши на основе дифференциации качества, не будут испытывать существенного сокращения спроса.

По мнению финансового директора ООО «УК Малахит» А. Овчинникова, «за последние три года произошли изменения в потреблении на первичном рынке жилья, так как устойчивым спросом стали пользоваться новостройки в центральной части правобережья, где из-за дороговизны земли реализуются высокоэтажные проекты (16–25 этажей)» [14]. Возрастают требования к наличию социальной и инженерной инфраструктуры, объектов культуры и отдыха, экологии и архитектурной оригинальности, а также к малоэтажным многоквартирным домам.

Список литературы

1. *Стимулирование* развития жилищного строительства в Новосибирской области на 2015–2020 годы [Электронный ресурс] : государственная программа Новосибирской области : изм. на 27.12.2017 : утв. Постановлением Правительства Новосибирской области от 20.02.2015 № 68-п // Техэксперт. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации.

2. *Ввод в действие жилых домов [Электронный ресурс] // Регионы России: социально-экономические показатели-2017 / Федеральная служба государственной статистики. – Режим доступа: http://www.gks.ru/bgd/regl/b17_14p/IssWWW.exe/Stg/d02/17-06.doc*
3. *Портер, М.* Конкурентная стратегия. – Москва : Альпина, 2009. – 301 с.
4. *Фатхутдинов, Р. А.* Стратегический менеджмент. – Москва : ЗАО «Бизнес-школа «Интел-Синтез», 2008. – 641 с.
5. *Сидорина, Т. В., Шеховцова, Л. В., Кулягина, Е. А., Чернобровина, А. Б., Шерстяков, А. А.* Сервисная составляющая в деятельности жилищно-коммунального хозяйства // Транспортное дело в России. – 2016. – № 6. – С. 77.
6. *Шерстяков, А. А.* Стратегические векторы развития рынка жилья // Транспортное дело. – 2017. – № 5. – С. 75–84.
7. *Рынок жилья в НСО и Новосибирске. Ретроспектива 2014–2016, итоги 2017 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://analytics.yolka.pro/upload/file/product/file/5afb13121cd3f.pdf>*
8. *Сидорина, Т. В.* Экспертирование образовательных систем // В мире научных открытий. – 2010. – № 4-8. – С. 72–74.
9. *Герасимов, В. В., Шерстяков, А. А., Яненко, Е. Н.* Креативные технологии менеджмента организации : учеб. пособие. – Новосибирск, 2014. – 324 с.
10. *Герасимов, В. В., Шерстяков, А. А., Яненко, Е. Н., Иванов, С. В.* Управление архитектурой территориальных строительных систем. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2015. – 211 с.
11. *Сидорина, Т. В., Шеховцова, Л. В., Кулягина, Е. А., Чернобровина, А. Б., Шерстяков, А. А.* Качество сервиса в деятельности жилищно-коммунального хозяйства // Наука Красноярья. – 2017. – Т. 6, № 1–2. – С. 284–288.

12. *Олейникова, О. Д., Сидорина, Т. В., Чечулин, А. А., Худо-рошко, Л. А.* Введение в психологию и технологию научно-исследовательской деятельности : учеб. пособие. – Новосибирск : НГПУ, 1999. – 214 с.
13. *Миңцберг, Г., Альстрэнд, Б., Лэмпел, Дж.* Школы стратегий : пер. с англ. / под ред. Ю. Н. Каптуревского. – Санкт-Петербург : Питер, 2011. – 336 с.
14. *Сорокина, М.* Малоэтажный Новосибирск [Электронный ресурс] // Континент Сибирь Online. – Режим доступа: <https://ksonline.ru/299057/maloetazhnyj-novosibirsk/> – Загл. с экрана.

Редактор В.Н. Болоцких

Санитарно-эпидемиологическое заключение
№ 54.НС.05.953.П.006252.06.06 от 26.06.2006 г.
Подписано к печати 09.11.2018. Формат 60×84/16.
Гарнитура Таймс. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Уч.-изд.л. 9; п.л. 10,5. Тираж 100 экз. Заказ №

Новосибирский государственный
архитектурно-строительный университет (Сибстрин)
630008, Новосибирск, ул. Ленинградская, 113

Отпечатано