

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
И НАУКИ РФ

МЕЖДУНАРОДНАЯ ОБЩЕСТВЕННАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ СОДЕЙСТВИЯ РАЗВИТИЮ
СТРОИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ
УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

СТРОИТЕЛЬСТВО

№ 7 (703)

Июль 2017 г.

Научно-теоретический журнал
Издается с марта 1958 г.
Выходит один раз в месяц

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

В.Н. Азаров, д-р техн. наук, проф., ВГТУ, Волгоград
А.А. Афанасьев, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф., НИУ МГСУ, Москва
А.А. Волков, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф., НИУ МГСУ, Москва
В.А. Воробьев, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф., МАДГТУ (МАДИ), Москва
В.Г. Гагарин, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф., НИИСФ, Москва
М.А.о. Гаджиев, д-р техн. наук, проф., АУАС, Баку, Азербайджан
У. Гайсбауэр, д-р – инж., Институт аэрогазодинамики, Университет Штутгарт, Германия
В.В. Дегтярев, д-р техн. наук, проф., НГАСУ (Сибстрин), Новосибирск
Й. Деспотович, PhD, проф., Университет Белграда, Сербия
В.Т. Ерофеев, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф., НИ МордГУ им. Н.П. Огарева, Саранск
Г.В. Есаулов, акад. РААСН, д-р архитектуры, проф., МАРХИ, Москва
В.И. Жаданов, д-р техн. наук, проф., ОГУ, Оренбург
М. Иветич, PhD, проф., Университет Белграда, Сербия
В.А. Игнатьев, д-р техн. наук, проф., ВГТУ, Волгоград
В.И. Колчунов, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф., Юго-ЗапГУ, Курск
В.И. Костин, д-р техн. наук, проф. (заместитель главного редактора), НГАСУ (Сибстрин), Новосибирск
Г.Б. Лебедев, канд. техн. наук, доц. (заместитель главного редактора), НГАСУ (Сибстрин), Новосибирск
П. Либланг, д-р, проф., Высшая техническая школа, Университет прикладных наук, Кёльн, Германия
Л.С. Ляхович, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф., ТГАСУ, Томск
В.М. Митасов, д-р техн. наук, проф., НГАСУ (Сибстрин), Новосибирск
В.И. Морозов, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф., СПбГАСУ, Санкт-Петербург
Ж.С. Нуужинов, д-р техн. наук, проф., Казахстанский МИРР, Караганда, Казахстан
Ю.П. Панибратов, акад. РААСН, д-р экон. наук, проф., СПбГАСУ, Санкт-Петербург
Г.И. Пустоветов, чл.-кор. РААСН, д-р архитектуры, проф., НГУАДИ, Новосибирск
В.Г. Себешев, поч. чл. РААСН, канд. техн. наук, проф. (главный редактор), НГАСУ (Сибстрин), Новосибирск
Ю.Л. Сколубович, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф., НГАСУ (Сибстрин), Новосибирск
Ю.А. Феофанов, д-р техн. наук, проф., СПбГАСУ, Санкт-Петербург
Й.В. Ху, PhD, проф., Национальный университет г. Инчхон, Республика Корея
Е.М. Чернышов, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф., ВГТУ, Воронеж
Е.Ч. Шин, PhD, проф., Национальный университет г. Инчхон, Республика Корея

Ответственный секретарь Н.В. Биткина

Адрес редакции:

630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113

Тел. +7 (383) 266 28 59. www.sibstrin.ru. E-mail: izvuz_str@sibstrin.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРИЯ СООРУЖЕНИЙ

Герасимов С.И., Сыч Т.В., Попов А.М. Численное моделирование волновых процессов при ударном погружении металлических стержней в грунт	5
---	---

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ. ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ

Талантова К.В. Несъемная опалубка из сталефибробетонных гнутых профилей	13
---	----

Коробова О.А., Максименко Л.А., Шестернёва А.А. К вопросу прогнозирования предельного напряженного состояния анизотропных грунтовых оснований	21
---	----

Ланис А.Л., Попов А.М., Ломов П.О. Устройство оснований методом раскатки скважин с инъектированием твердеющего раствора	29
---	----

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ

НАСЕЛЕННЫХ МЕСТ, ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА

Костин В.И. Совершенствование нормативной базы по проектированию систем климатизации промышленных зданий	39
--	----

Ким А.Н., Давыдова Е.В. Модернизация фильтрующего модуля ФМС на дождевой канализационной сети	48
---	----

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО, ГИДРАВЛИКА И ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ

Гахова Л.Н., Кузнецова Ю.А. Расчет напряженного состояния сталежелезобетонных турбинных водоводов в трехмерной постановке с учетом гидравлического удара	59
--	----

Файзиев Х., Хожиев Т., Хажиев И., Рахимов Ш. Численное решение краевой задачи неустановившейся фильтрации в грунтовых плотинах с учетом фильтрационной анизотропности грунтов методом конечных разностей	66
--	----

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

Авдеев Ю.В., Кононов А.Д., Кононов А.А., Варданян Н.А. Разработка функциональной схемы фазоразностной системы автоматического дистанционного управления группой технологических машин дорожно-строительного комплекса	75
---	----

НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ, ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКОЛОГИИ

Молодин А.В. К вопросу комфортных температурных условий эксплуатации традиционного чукотского жилища в условиях Крайнего Севера. Часть 2	83
--	----

Сазонов Э.В., Смольянинов В.В. ТERRиториальное планирование пригородных зон (градостроительно-правовой аспект)	90
--	----

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Воробьев В.С., Ланис А.Л., Попова Ю.В. Оптимальное управление поставками и запасами материальных ресурсов на строительстве линейно-рассредоточенных объектов	100
--	-----

THE MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE

OF RUSSIAN FEDERATION

INTERNATIONAL PUBLIC ORGANIZATION

“ASSOCIATION OF EDUCATIONAL
CIVIL ENGINEERING INSTITUTIONS”

**NEWS OF HIGHER EDUCATIONAL
INSTITUTIONS**

CONSTRUCTION

No. 7 (703)

July 2017

Scientific-theoretical journal

Published since March 1958

Monthly

EDITORIAL BOARD

- V.N. Azarov, DSc (Eng), Prof., Volgograd, Russia
A.A. Afanas'yev, Corr. Mem. RAACS, DSc (Eng), Prof., Moscow, Russia
A.A. Volkov, Corr. Mem. RAACS, DSc (Eng), Prof., Moscow, Russia
V.A. Vorob'yov, Corr. Mem. RAACS, DSc (Eng), Prof., Moscow, Russia
V.G. Gagarin, Corr. Mem. RAACS, DSc (Eng), Prof., Moscow, Russia
M.A.o. Hajiyev, DSc (Eng), Prof., Baku, Azerbaijan
U. Gaisbauer, Dr. – Ing., Institut für Aerodynamik und Gasdynamik, Universität Stuttgart, Germany
V.V. Degtyarev, DSc (Eng), Prof., Novosibirsk, Russia
J. Despotović, PhD, Prof., University of Belgrad, Serbia
V.T. Erofeev, Acad. RAACS, DSc (Eng), Prof., Saransk, Russia
G.V. Esaulov, Acad. RAACS, DSc (Architecture), Prof., Moscow, Russia
V.I. Zhadanov, DSc (Eng), Prof., Orenburg, Russia
M. Ivetić, PhD, Prof., University of Belgrad, Serbia
V.A. Ignat'yev, DSc (Eng), Prof., Volgograd, Russia
V.I. Kolchunov, Acad. RAACS, DSc (Eng), Prof., Kursk, Russia
V.I. Kostin, DSc (Eng), Prof. (*Deputy Edinor-in-Chief*), Novosibirsk, Russia
G.B. Lebedev, PhD, Ass. Prof. (*Deputy Edinor-in-Chief*), Novosibirsk, Russia
P. Lieblang, Dr., Prof., Technische Hochschule, Köln, Germany
L.S. Lyakhovich, Acad. RAACS, DSc (Eng), Prof., Tomsk, Russia
V.M. Mitasov, DSc (Eng), Prof., Novosibirsk, Russia
V.I. Morozov, Corr. Mem. RAACS, DSc (Eng), Prof., Saint-Petersburg, Russia
Zh. S. Nuguzhinov, DSc (Eng), Prof., Karaganda, Republic of Kazakhstan
Yu.P. Panibratov, Acad. RAACS, DSc (Econ), Prof., Saint-Petersburg, Russia
G.I. Pustovetov, Corr. Mem. RAACS, DSc (Architecture), Prof., Novosibirsk, Russia
V.G. Sebeshev, Honour. Mem. RAACS, PhD, Prof. (*Edinor-in-Chief*), Novosibirsk, Russia
Yu.L. Skolubovich, Corr. Mem. RAACS, DSc (Eng), Prof., Novosibirsk, Russia
Yu. A. Feofanov, DSc (Eng), Prof., Saint-Petersburg, Russia
Jong Wan Hu, PhD, Prof., Incheon National University, Republic of Korea
Ye.M. Chernyshov, Acad. RAACS, DSc (Eng), Prof., Voronezh, Russia
Eun Chul Shin, PhD, Prof., Incheon National University, Republic of Korea

Responsible secretary N.V. Bitkina

The editorial office's address:

113 Leningradskaya St. Novosibirsk 630008 Russia

Phone number +7 (383) 266 28 59

E-mail: izvuz_str@sibstrin.ru

www.sibstrin.ru

CONTENTS

THEORY OF STRUCTURES

Gerasimov S.I., Sych T.V., Popov A.M. Numerical simulation of wave processes during impact metal rods pushing into soil	5
--	---

BUILDING CONSTRUCTIONS, BUILDINGS AND STRUCTURES.

BASES AND FOUNDATIONS

Talantova K.V. Retained formwork of steel fiber concrete bent sections	13
Korobova O.A., Maksimenko L.A., Shesterneva A.A. To the problem of forecasting the limit stress of anisotropic ground bases	21
Lanis A.L., Popov A.M., Lomov P.O. Strengthening of the bases by filling piles in flaring apertures with the injection of hardening cement slurry	29

LIFE MAINTENANCE ENGINEERING SYSTEMS

OF THE INHABITED LOCALITIES, BUILDINGS AND STRUCTURES.

ECOLOGICAL SAFETY OF CONSTRUCTION

Kostin V.I. Improvement of the regulatory base on design of environmental control systems of industrial buildings	39
Kim A.N., Davydova E.V. Enhancement of FMS filter cell through the runoff water system	48

HYDRO-ENGINEERING CONSTRUCTION, HYDRAULICS AND ENGINEERING HIDROLOGY

Gakhova L.N., Kuznetsova Yu.A. Calculation of the stress state of steel and concrete power conduits in a three-dimensional setting, taking into account hydraulic shock	59
Fayziev H., Hozhiev T., Hazhiev I., Rahimov S. Numerical solution of unsteady filtration in earth dams with considering filtration anisotropically ground finite difference method	66

TECHNOLOGY AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION

Avdeev Yu.V., Kononov A.D., Kononov A.A., Vardanyan N.A. Development of a functional diagram of the system, measuring a difference in phase, of automatic remote control by group of technological machines of road-building complex	75
---	----

SCIENTIFIC PROBLEMS OF ARCHITECTURE, TOWN PLANNING AND ECOLOGY

Molodin A.V. To the issue of comfort temperature conditions in traditional Chukotka's houses in Far North regions. Part 2	83
Sazonov E.V., Smol'yaninov V.V. Territorial planning of suburban areas (urban development and legislative aspect).....	90

SECTION OF SCIENTIFIC METHODOLOGY

Vorob'ev V.S., Lanis A.L., Popova Yu.V. Optimal management of supplies and reserves of material resources on the construction of linear-distributed objects	100
--	-----

ТЕОРИЯ СООРУЖЕНИЙ

УДК 624.04

С.И. ГЕРАСИМОВ, Т.В. СЫЧ, А.М. ПОПОВ

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ УДАРНОМ ПОГРУЖЕНИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СТЕРЖНЕЙ В ГРУНТ

С помощью метода конечных элементов исследован процесс забивания металлических стержней в грунт с применением машин ударного действия. Установлено, что при произвольном расположении удерживающих опор поперечные смещения точек стержня превышают предельные допустимые значения. Характер динамической деформации исследуемого изделия зависит от его длины, типа материала, вида генератора ударных импульсов и местоположения опор. Ввиду того, что длина отдельных участков металлического стержня между опорами измеряется многими метрами, подход к решению поставленной задачи возможен только с позиции анализа волновой картины, возникающей в волноводе, роль которого выполняет забиваемый стержень, при генерации, передаче и трансформации ударного импульса.

Ключевые слова: метод конечных элементов, волновые процессы в стержнях, ударное нагружение.

Введение. Современные требования к строительству различных сооружений предполагают дальнейшее совершенствование технологии забивки свай в грунт, однако при принятии решения о расположении опор забиваемой сваи чаще руководствуются практическими предположениями, численное моделирование и исследование таких объектов применяется редко. В то же время численное решение подобных задач позволит прогнозировать максимальные прогибы модели под собственным весом и перемещения узлов под действием ударной нагрузки. При забивке в грунт стержень в общем случае представляет собой колебательную систему, свойства которой в настоящее время недостаточно исследованы из-за сложности аналитического решения подобных задач [1].

1. Выбор расположения опор для стержня. Общее уравнение движения акустической волны в матричной форме имеет вид

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = F_0, \quad (1)$$

где M – матрица масс;

C – матрица затухания (сопротивления);

K – матрица жесткости;

F_0 – вектор приложенной силы;

u, \dot{u}, \ddot{u} – вектор перемещения и его производные по времени.

Для корректного численного решения уравнения (1) должны быть соблюдены условия по пространственной и временной дискретизации. Условие по пространственной дискретизации может быть выражено так

$$l_e = \lambda_{\min}/20 \dots \lambda_{\min}/10, \quad (2)$$

где l_e – характерный размер элемента;
 λ_{\min} – наименьшая длина исследуемой волны.

$$\Delta t = 1/(20f_{\max}), \quad (3)$$

где Δt – временной шаг;
 f_{\max} – максимальная частота возбуждаемой волны.

В работе применяется метод конечных элементов для моделирования волновых процессов, имеющих место при вбивании стержня в грунт. Математический расчет выполнен в программе COSMOS/M.

Модель стержня имела длину 10 м и состояла из 50 конечных элементов, тип элементов BEAM 2D. Размер каждого элемента 0,2 м. Для модели были заданы геометрические характеристики стального стержня диаметром 18 мм, такие как площадь поперечного сечения S , равная $2,54 \text{ см}^2$, момент инерции круга относительно центральной оси J , равный $5,15 \cdot 10^{-9} \text{ м}^4$. Также были заданы физико-механические свойства стали: плотность, коэффициент Пуассона, модуль упругости.

На первом этапе работы выполнен выбор узлов закрепления модели (удерживающих опор). При жестком закреплении (ограничения перемещений и поворотов по всем направлениям) только в крайнем узле 1 модель (рис. 1) теряет устойчивость и разрушается под действием собственного веса. При закреплении в узлах 1 и 26 (посредине стержня) модель, согласно конечно-элементному расчету, имела максимальный прогиб 2,55 м в крайнем правом узле 51. Форма этого деформированного стержня и соответственно прогиба показана на рис. 1 пунктирными линиями. Данный прогиб превышает максимально допустимый, равный 0,2 м. Максимально допустимый прогиб выбирался из практических рекомендаций.

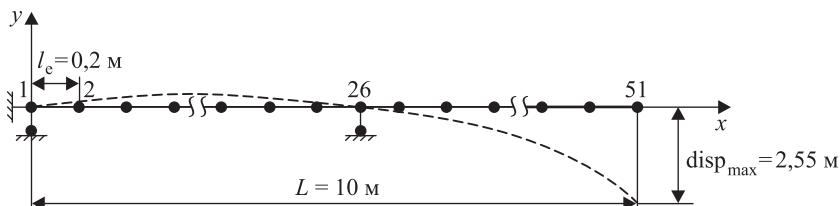


Рис. 1. Конечно-элементная модель металлического стержня и прогиб под действием собственного веса при закреплении (опоре) в узле 1 (жестко) и в узле 26 (шарнирно)

Прогиб крайнего узла превышает максимально допустимый прогиб, поэтому была создана модель с опорами в двух узлах. Чаще всего именно двух опор хватает на практике для поддержки свай при ее вбивании. Схема размещения двух опор при разделении стержня на три равные части показана на рис. 2, а. При закреплении в узлах 17 и 34 максимальное перемещение крайнего правого узла 51 составило 580 мм.

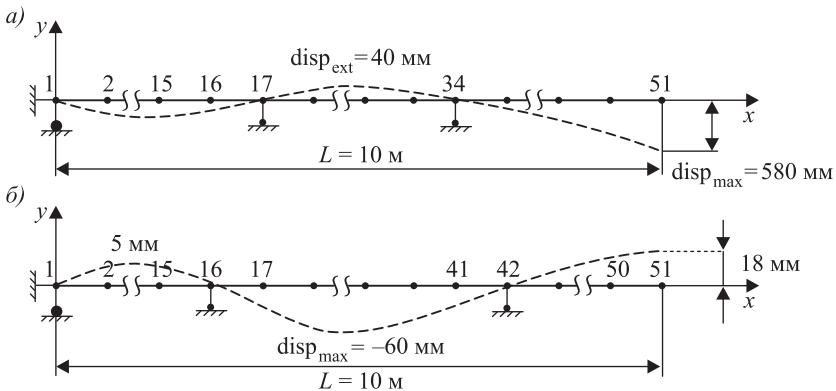


Рис. 2. Форма прогиба модели с двумя опорами в разных координатах по длине

Рассматривались разные варианты размещения двух опор по длине стержня. Исследованные комбинации и максимальный прогиб стержня при таких вариантах представлены в таблице. Закрепление из узла 34 сдвигалось вправо с тем, чтобы уменьшить прогиб крайнего правого узла. При размещении правой опоры в узле 42 прогиб стал более приемлемым, свободный конец переместился вверх. При расположении опор в узлах 1, 16, 42 форма прогиба стержня под собственным весом показана на рис. 2, б, все дальнейшие расчеты проводятся для такого варианта расположения опор.

Зависимость максимальных прогибов стержня от варианта его закрепления по длине

Комбинация опор	17	17	17	17	17	17	17	18	18	16	16
Узел	34	35	37	39	40	41	42	42	41	41	42
Максимальный прогиб в крайнем правом узле, мм	-580	-460	-275	-130	-70	-29	+8	-2	-30	-20	+18

2. Отработка методики моделирования на тестовых задачах. Представленная выше модель не является полностью эквивалентной реальному стержню, так как на конце реального стержня может быть закреплен ударник массой от 10 до 60 кг [2]. Поэтому в дальнейшем на свободный конец модели была добавлена сосредоточенная масса 10 кг. Полученная при этом форма прогиба стержня при учете собственного веса стержня и веса ударника представлена на рис. 3. Согласно этим данным о перемещении каждого из узлов модели по оси y , смоделирован изогнутый стержень (рис. 4, а). Постановка тестовой задачи об отклике стержня на динамическую нагрузку заключалась в следующем. Численная модель состояла из 54 элементов с характерным

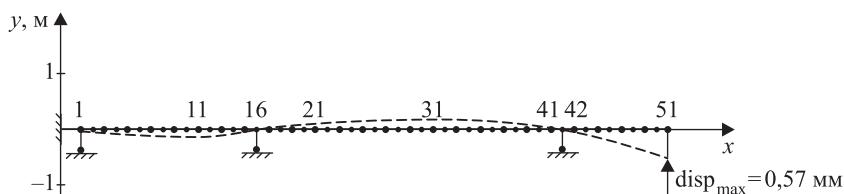


Рис. 3. Форма прогиба расчетной модели под действием собственного веса и веса ударника

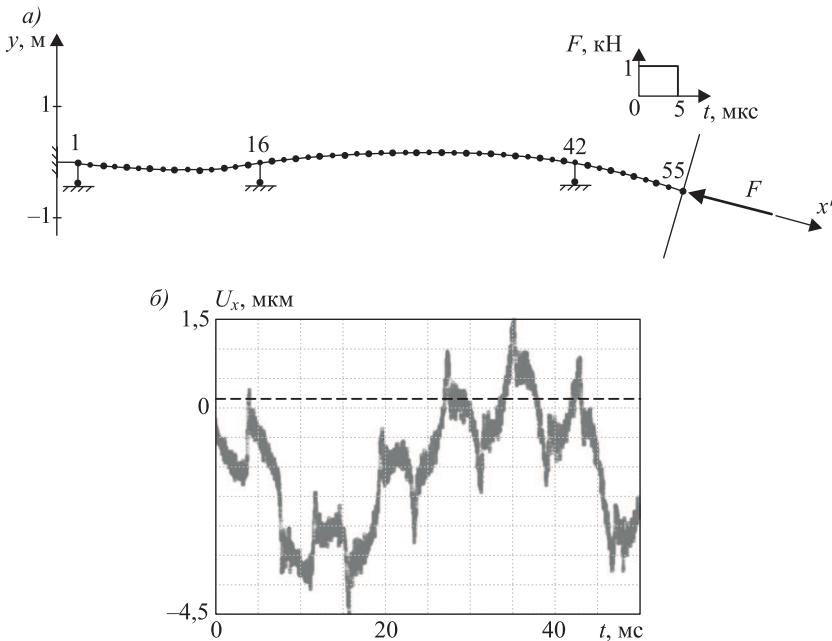


Рис. 4. Тестовая задача. Единичное ударное воздействие (а); отклик в крайнем правом узле 55 (б)

размером элемента 0,2 м. Тип элемента BEAM2D. Физико-механические характеристики стального стержня диаметром 18 мм:

Модуль упругости E , МПа	$2,1 \cdot 10^5$
Коэффициент Пуассона ν	0,3
Плотность ρ , кг/м ³	$7,7 \cdot 10^3$
Площадь поперечного сечения S , м ²	$2,54 \cdot 10^{-4}$
Момент инерции относительно центральной оси J , м ⁴	$5,15 \cdot 10^{-9}$

Анализировался отклик такой модели на короткое импульсное воздействие. В узле 55 прикладывалась сила 1 кН, длительностью 5 мкс (рис. 4, а). Отклик в узле 55 показан на рис. 4, б. При этом расчетное время прихода волны до жесткой заделки составляет 2 мс. Из рис. 4, б видно, что за полный период, равный 4 мс, волна успевает пройти от свободного конца до жесткой заделки и обратно. Данные результаты хорошо согласуются с результатами, полученными ранее в работах [3–5]. Особенность данной модели – появление еще одной моды колебаний на более низкой частоте, особенно хорошо она различима для узла 55.

3. Создание численной модели стержня, забиваемого в грунт во время подкрепления вертикальных откосов. Согласно экспериментальным данным, на свободном конце к численной модели должна быть приложена сила величиной 96 Н по нормали к торцу стержня длительностью 10 мс и скважностью, равной 2 [2, 6]. Форма временной кривой нагружения представлена на рис. 5. Произведен динамический расчет для данной модели. Модель учитывает прогиб стержня под собственным весом.

Характерный размер элемента для данной численной модели равен 20 см. Если рассматривать кило- и мегагерцовый диапазон распространения

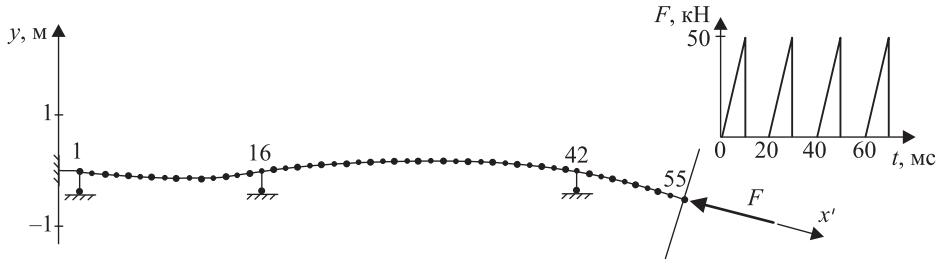


Рис. 5. Численная модель стержня, забиваемого в грунт

акустических колебаний, условие (2), подробно описанное в [7], не выполняется. Однако для рассматриваемого случая при использовании временной диаграммы, изображенной на рис. 5, когда модель испытывает нагружение и отпуск за интервал времени 10 мс, имеют место акустические колебания с длиной волны $\sim 0,6$ м. Тогда сетка в модели аппроксимирует длину волны с шагом, равным трем элементам на длину волны. Данная аппроксимация была бы грубой для кило- и мегагерцового диапазона. В процессе анализа увеличено количество элементов на одну длину волны, тем самым улучшена

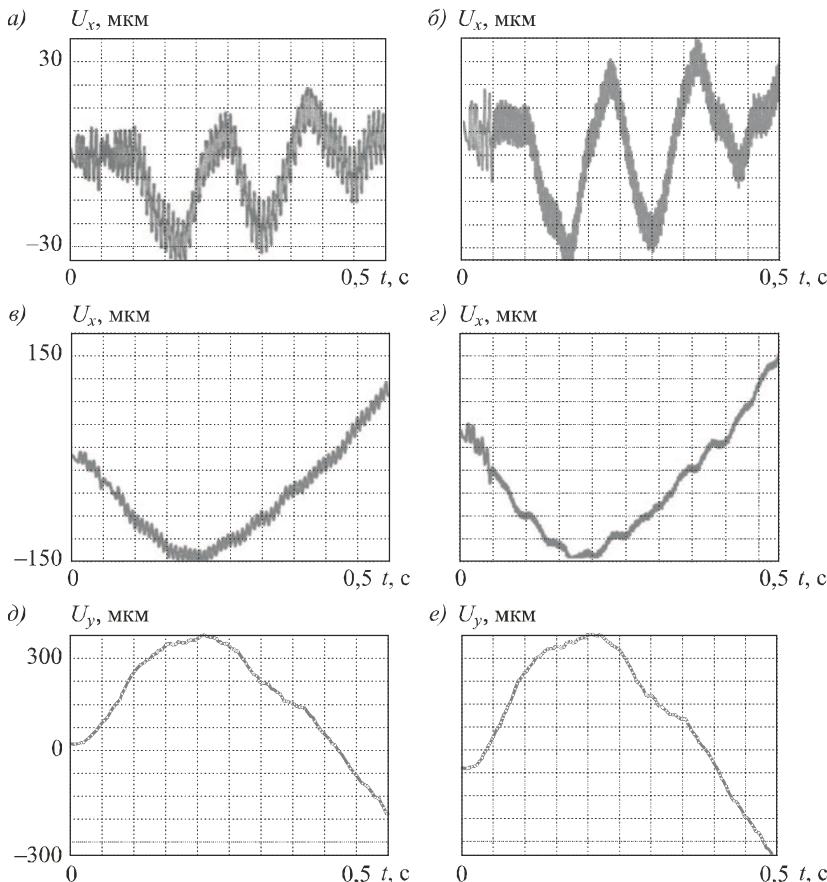


Рис. 6. Сравнение результатов расчета в узлах с одинаковыми координатами при разной дискретизации конечно-элементной сетки
 а, в, д – перемещения узлов модели с дискретизацией $\lambda/3$; б, г, е – перемещения узлов модели с дискретизацией $\lambda/30$

аппроксимация в модели. На рис. 6 представлены сравнительные результаты для двух моделей: первая состоит из 54, вторая из 512 элементов. При рассмотрении второй модели характерный размер элемента уменьшен до 2 см. Таким образом, сетка аппроксимирует длину волны с очень высокой точностью $\sim \lambda/30$ [8, 9].

Из рис. 6 видно, что характерный размер элемента не влияет на форму огибающей отклика узла, однако дисперсия отклика узла выше для модели с грубой дискретизацией сетки. Для модели с более точной дискретизацией (512 элементов) дисперсия откликов узла меньше. Если рассмотреть отклик узлов по времени далее по шкале времени, к примеру, до 1 с, отклик в каждом узле так же имеет несколько частотных составляющих, как и в тестовом примере.

Выводы. Метод конечных элементов корректно моделирует процессы распространения ударных волн в стержнях конечной длины. Предложенная методика может использоваться для оптимизации размещения промежуточных опор при осуществлении подкрепления вертикальных откосов с помощью металлических стержней.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Айзенберг - Степаненко М.В., Ошарович Г.Г., Шер Е.Н., Яновицкая З.Ш. Численное моделирование ударно-волновых процессов в упругих средах и конструкциях. 1. Методы решения и расчетные алгоритмы // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2012. № 1. С. 89–109.
2. Исааков А.Л., Шмелев В.В. Анализ волновых процессов при забивании металлических труб в грунт с использованием генераторов ударных импульсов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1998. № 2. С. 48–58.
3. Graff K.F. Wave motion in elastic solids. New York: Dover, 1991. 664 p.
4. Викторов И.А. Физические основы применения ультразвуковых волн Рэлея и Лэмба в технике. М.: Наука, 1966. 169 с.
5. Liu G., Qu J. Transient wave propagation in a circular annulus subjected to impulse excitation on its outer surface // Journal of the Acoustical Society of America. 1998. Vol. 103, No. 2. P. 1210–1220.
6. Сыч Т.В., Герасимов С.И., Кулешов В.К. Моделирование распространения акустических волн методом конечных элементов // Дефектоскопия. 2012. № 3. С. 3–9.
7. Сыч Т.В., Васильев С.П., Бехер С.А., Герасимов С.И. Численное моделирование акустической эмиссии при исследовании элементов мостовых конструкций // Вестн. ТГАСУ. 2012. № 2. С. 212–221.
8. Allayne D, Cawley P. A two-dimensional Fourier transform method for measurement of propagating multimode signals // Journal of the Acoustical Society of America. 1991. Vol. 89, No. 3. P. 1159–1168.
9. Cleveland R.O., Sapozhnikov O.A. Modeling elastic wave propagation in kidney stones with application to shock wave lithotripsy // Journal of the Acoustical Society of America. 2005. Vol. 118, No. 4. P. 2667–2676.

Герасимов Сергей Иванович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: Gerasimov@stu.ru
Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск

Сыч Татьяна Викторовна, канд. техн. наук; E-mail: tatyna979@mail.ru
Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск
Попов Анатолий Михайлович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: 47604@mail.ru
Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск

Получено после доработки 05.06.17

Gerasimov Sergey Ivanovich, DSc, Professor; E-mail: Gerasimov@stu.ru

Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

Sych Tatiana Viktorovna, PhD; E-mail: tatyna979@mail.ru

Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

Popov Anatoliy Mikhailovich, DSc, Professor; E-mail: 47604@mail.ru

Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

NUMERICAL SIMULATION OF WAVE PROCESSES DURING IMPACT METAL RODS PUSHING INTO SOIL

Using the finite element method, the process of plugging metal rods into the ground with the use of impact machines was investigated. It is established that with an arbitrary arrangement of the supporting supports, the transverse displacements of the points of the rod exceed the limiting permissible values. The nature of the dynamic deformation of the product under investigation depends on its length, the type of material, the type of the shock pulse generator and the location of the supports. In view of the fact that the length of individual sections of the metal rod between the supports is measured by many meters, the approach to solving the posed problem is possible only from the position of analysis of the wave pattern arising in the waveguide, whose role is played by the driven pin, during generation, transmission and transformation of the shock pulse.

К e y w o r d s: finite element method, wave processes in rods, impact loading.

REFERENCES

1. A y z e n b e r g - S t e p a n e n k o M.V., O s h a r o v i c h G.G., S h e r E.N., Y a n o v i t s k a y a Z.Sh. Chislennoe modelirovaniye udarno-volnovykh protsessov v uprugikh sredakh i konstruktsiyakh. 1. Metody resheniya i raschetnye algoritmy [Numerical simulation of shock-wave processes in elastic media and structures. Part I: Solving method and algorithms]. Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh [Journal of Mining Science]. 2012. Vol. 48, No. 1. Pp. 76–95.
2. I s a k o v A.L., S h m e l e v V.V. Analiz volnovykh protsessov pri zabivaniii metallicheskikh trub v grunt s ispol'zovaniem generatorov udarnykh impul'sov [Wave processes when driving metal pipes into the ground using shock-pulse generators]. Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh [Journal of Mining Science]. 1998. Vol. 34, No. 2. Pp. 139–147.
3. G r a f f K.F. Wave motion in elastic solids. New York: Dover, 1991. 664 p.
4. V i c t o r o v I.A. Fizicheskie osnovy primeneniya ul'trazvukovykh voln Releya i Lemba v tekhnike [The physical basis for the application of Rayleigh and Lamb ultrasonic waves in engineering]. Moscow, Nauka. 1966. 169 p. (in Russian)
5. L i u G., Q u J. Transient wave propagation in a circular annulus subjected to impulse excitation on its outer surface. Journal of the Acoustical Society of America. 1998. Vol. 103, No. 2. Pp. 1210–1220.
6. S y c h T.V., G e r a s i m o v S.I., K u l e s h o v V.K. Modelirovaniye rasprostraneniya akusticheskikh voln metodom konechnykh elementov [Simulation of the propagation

- of acoustic ways by the finite element method]. Defektoskopiya [Russian Journal of Nondestructive Testing]. 2012. Vol. 48, No. 3. Pp. 147–152.
7. S y c h T.V., V a s i l y e v S.P., B e h e r S.A., G e r a s i m o v S.I. Chislennoe modelirovaniye akusticheskoy emissii pri issledovanii elementov mostovykh konstruktsiy [Numerical modeling of acoustic emission in bridge structures]. Vestnik TGASU [Vestnik TSUAB]. 2012. No. 2. Pp. 212–221. (in Russian)
8. A l l e y n e D, C a w l e y P. A two-dimensional Fourier transform method for measurement of propagating multimode signals. Journal of the Acoustical Society of America. 1991. Vol. 89, No. 3. Pp. 1159–1168.
9. C l e v e l a n d R.O., S a p o z h n i k o v O.A. Modeling elastic wave propagation in kidney stones with application to shock wave lithotripsy. Journal of the Acoustical Society of America. 2005. Vol. 118, No. 4. Pp. 2667–2676.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ. ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ

УДК 69.057.51 : 691-419.8

К.В. ТАЛАНТОВА

НЕСЪЕМНАЯ ОПАЛУБКА ИЗ СТАЛЕФИБРОБЕТОННЫХ ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ

В современной практике строительства заметное место занимают монолитные железобетонные конструкции, которые возводятся с использованием съемной либо несъемной опалубки. Расширить функцию несъемной опалубки, как формообразующего элемента, можно, включив ее в расчетное сечение разрабатываемой конструкции, используя композит – сталефибробетон, обладающий свойствами, которыми можно управлять в широких пределах. Применение сталефибробетона позволяет использовать нетрадиционные для изготовления железобетонных конструкций способы формования. Особенно это проявляется при формировании тонкостенных изделий и конструкций сложной конфигурации. При этом расчет элементов сталефибробетонной опалубки в составе разрабатываемого элемента следует выполнять с помощью программных средств (SCAD, Лира и др.), а их изготовление – методом гнутья свежеотформованной плоской заготовки. Предлагаемые решения дают возможность минимизировать расход материалов и на технологическое оборудование, и на разрабатываемую конструкцию при гарантии обеспечения эксплуатационных требований последней.

Ключевые слова: монолитные железобетонные конструкции, несъемная опалубка, тонкостенные гнутые профили, сталефибробетон, формование методом гнутья, плоская заготовка, сравнительные характеристики, технико-экономические показатели.

Железобетонные конструкции (ЖБК) по-прежнему занимают одно из ведущих мест в отечественной строительной практике [1]. В последние годы активно развивается монолитное строительство. Известно, что при возведении монолитных ЖБК необходима опалубка. При этом опалубочные работы составляют до 25 % стоимости и до 40 % трудоемкости возведения, которые можно снизить с помощью несъемной опалубки [2]. Первые разработки несъемной опалубки датируются концом 30-х гг. XX в. [2]. Известно, что несъемная опалубка – это блоки или панели из различных материалов, которые монтируются в единую опалубочную конструкцию – форму для укладки монолитного армированного бетона, что ускоряет и упрощает строительство за счет объединения нескольких операций в одном технологическом цикле [3].

В строительной практике различают несколько принципиально разных типов несъемной опалубки. Для возведения монолитных ЖБК все чаще

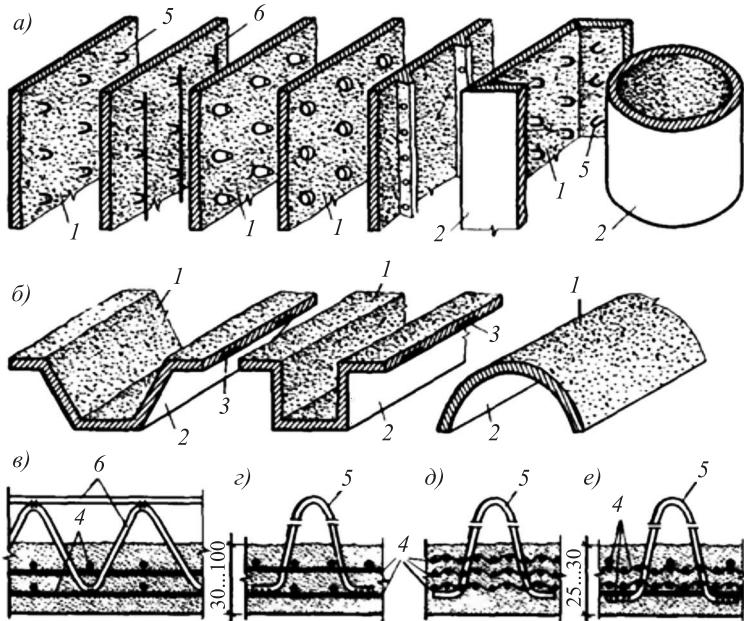


Рис. 1. Несъемная железобетонная (а) и армоцементная (б) опалубка; армирование железобетонной (в, г) и армоцементной (д, е) опалубки

1 – активная поверхность бетона; 2 – пассивная поверхность бетона; 3 – закладная деталь; 4 – арматурные сетки; 5 – петля; 6 – анкерный каркас

применяется несъемная железобетонная и армоцементная опалубка (рис. 1). Кроме нее есть предложение использовать несъемную стеклоцементную, фибробетонную опалубку [4, 5].

Железобетонные и армоцементные элементы несъемной опалубки весьма рациональны. Они позволяют снизить расход материалов и уменьшить трудовые затраты, применяя недефицитные материалы. Опалубочные элементы изготавливают на заводах сборного железобетона или на полигонах из бетона классов В15–В25 и армируют стандартными или нестандартными сварными сетками. Армирование армоцементных элементов рекомендуется производить ткаными сетками [5], а также комбинированными армопакетами. Кроме того, используются несъемные опалубки из пенополистирола для обеспечения теплоизоляции; облицовочные (декоративные); по технологии «Пластбау-3»; деревобетонные панели или блоки (арболит); стекломагнезитовые каркасные. Из строительного материала Tecolit – смеси щепы, цемента, добавок и воды, формуются блоки несъемной опалубки различной конфигурации [<http://tecolit.ru/>], обладающие высокими теплоизоляционными и шумозащитными свойствами и др. Армирование опалубочных элементов определяется расчетом на монтажно-транспортные нагрузки и давление бетонной смеси. Боковое давление укладываемой смеси зависит от вибраторов, радиуса их действия, средней скорости нарастания высоты бетонного слоя и других факторов.

Результаты экспериментально-теоретических исследований позволили сформулировать концепцию создания конструкций на основе композита –

сталефибробетона¹ (СФБ), состоящую в формировании направленного фиброго армирования, соответствующего их напряженно-деформированному состоянию (НДС) при их проектировании и изготовлении [6–8]. Такой подход открывает возможность регулирования структуры материала, а значит и его свойств, в соответствии с НДС конструкции и получения требуемого результата при минимальных затратах. Развитие идеи создания конструкций на основе сталефибробетона с заданными эксплуатационными характеристиками возможно на пути их получения в комбинированном варианте – железобетонный (ЖБ) элемент с использованием тонкостенной СФБ несъемной опалубки.

В качестве несъемной опалубки в представляемых исследованиях разрабатываются гнутые СФБ профили (таблица), в соответствии с размерами

Характеристики несъемной опалубки разных типов

Материал опалубки	Функциональное назначение	Толщина плиты, см	Вес 1 м ² , кг	Стоимость* 1 м ² , руб.
Железобетон	Формообразование, облицовка, защитный слой арматуры	5–6	60–150	1200
Армоцемент	Формообразование, облицовка, защитный слой арматуры	2,5–3,5	60–85	1300
Стеклоцемент	Формообразование, облицовка; защитный слой арматуры	1,2–2,0	19–32	1300
Сталь	Формообразование, защита конструкций в особых условиях	0,07–1,0	50–80	2500
Пенополистирол	Формообразование, теплоизоляция	4–10	1,6–4,0	1400
Щепоцемент	Формообразование, теплоизоляция	2,5–7,5	30–100	210
Сталефибробетон	Формообразование, облицовка, защитный слой арматуры, элемент расчетного сечения, внешнее армирование	2–3	45–70	500

* Расчетные данные.

типовых (при необходимости нетиповых) несущих и ограждающих ЖБ конструкций (рис. 2). Хотя технология изготовления СФБ гнутых профилей позволяет их создать и для индивидуальных решений.

Применение СФБ гнутых профилей в качестве несъемной опалубки открывает возможность упростить технологию возведения объектов в монолитном варианте, что может привести к дополнительной экономии средств и трудозатрат и успешно конкурировать с традиционными решениями.

¹ СП 52-104-2006. Свод правил по проектированию и строительству: сталефибробетонные конструкции (к СНиП 52-01-2003). М.: ФГУП НИЦ «Строительство», 2007. 56 с.

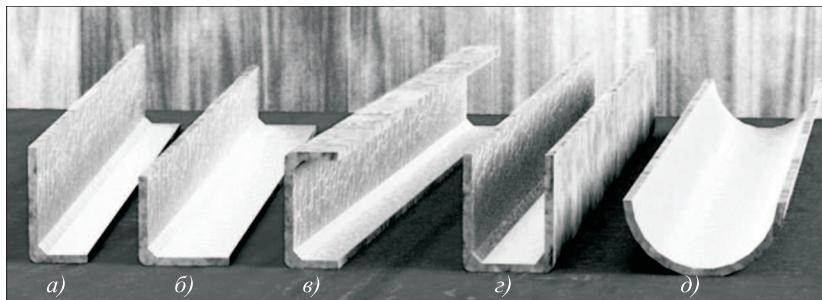


Рис. 2. Схемы сталефибробетонных гнутых профилей
а – неравнобокий уголок; б – равнобокий уголок; в – швеллер; г – П-образный;
д – полутруба

Сталефибробетонная несъемная опалубка из гнутых профилей делает возможным формообразование элемента, а также, являясь частью расчетного сечения, включается в работу, обеспечивая совместно с ЖБ наполнением его заданные несущую способность, трещиностойкость и жесткость. Совместность работы СФБ профиля с армированным бетоном (ЖБ элементом) происходит одним из известных способов: конструкции опалубки придают шероховатую активную поверхность, устанавливают анкерные петли, устраивают шпонки, выпуски фибр и пр. [8–10].

Поскольку гнутый профиль несъемной опалубки включается в работу элемента, схему его фибрового армирования целесообразно разрабатывать в соответствии с его статической (динамической) работой в составе элемента. Для этого целесообразен статический расчет комбинированного элемента (ЖБ с СФБ несъемной опалубкой) программными средствами, реализующими метод конечных элементов на эксплуатационные нагрузки.

Сталефибробетонную опалубку, кроме того, необходимо рассчитать на нагрузки, действующие при изготовлении СФЖБ конструкции (давление бетона на СФБ опалубку при формировании), транспортные и монтажные нагрузки. На основе картин полей напряжений, полученных от всех вариантов загружений, следует сформировать схему фибрового армирования опалубки и регулярного армирования СФЖБ элемента целиком. При этом с помощью специальной программы (свидетельство о госрегистрации програм-

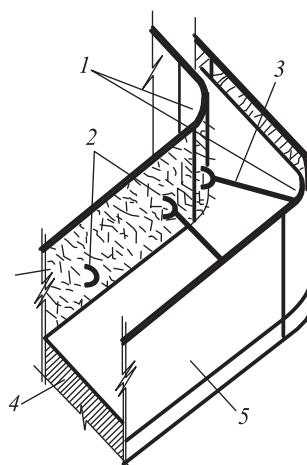


Рис. 3. Фрагмент несъемной опалубки стенового ограждения из гнутого сталефибробетонного профиля. Составной угловой элемент

1 – угловой элемент несъемной СФБ опалубки; 2 – петли стеклозгут Ø 5 мм; 3 – вязальная проволока; 4 – пенобетон $P = 600 \text{ кг}/\text{м}^3$; 5 – прямолинейный элемент несъемной СФБ опалубки стены (М30)

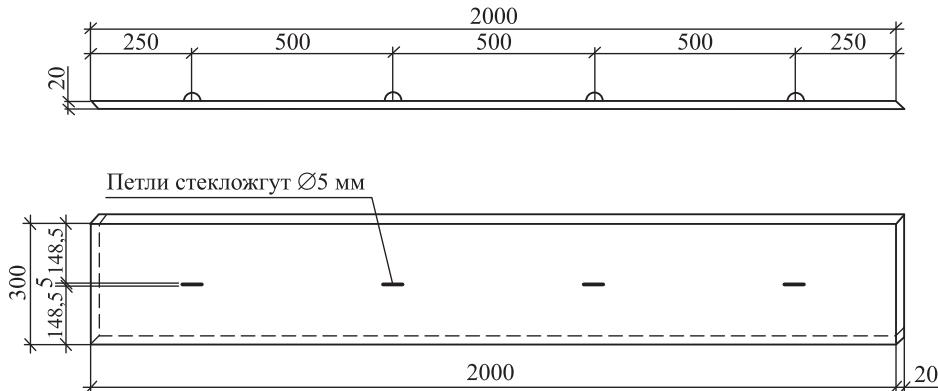


Рис. 4. Несъемная опалубка из стальфибробетона. Фрагмент прямолинейного элемента стенового ограждения

мы для ЭВМ № 2012619865 от 31.10.12) нужно уточнить параметры фибрового армирования и характеристики исходного бетона гнутого профиля. Для этого по величине максимального (главного) нормального напряжения на растяжение σ_{mt} (σ_{tmax}) и/или на сжатие σ_{mc} (σ_{cmax}) определяют минимальный относительный коэффициент расхода фибр на растяжение k_{fbt} и соответствующие ему параметры фибрового армирования: диаметр фибр d_f , отношение их длины к диаметру l_f/d_f , объемный коэффициент фибрового армирования μ_{fV} , расчетное сопротивление СФБ на растяжение R_{fbt} и исходного бетона на сжатие R_b .

Применение комбинированных конструкций эффективно для нового строительства (рис. 3, 4). Например, наружные несущие стены жилого дома могут быть выполнены из конструктивно-теплоизоляционного пенобетона $\rho = 600 \text{ кг}/\text{м}^3$ и несъемной СФБ опалубки толщиной по 2 см с двух сторон. Общая толщина несущей наружной стены при этом 540 мм. Внутренние несущие стены общей толщиной 300 мм из бетона класса В15 и двух наружных пластин несъемной СФБ опалубки толщиной тоже по 2 см.

Кроме того, СФБ несъемная опалубка может быть успешно использована при восстановлении и реконструкции элементов зданий и сооружений (рис. 5, 6) [9], особенно в сложных эксплуатационных условиях. При этом монтаж элементов несъемной опалубки может осуществляться средствами малой механизации без привлечения тяжелой грузоподъемной техники. В отличие от сложных технологических операций и оборудования, используемых для формования тонкостенных ЖБ и армоцементных элементов, производство конструкций на основе СФБ в предлагаемом варианте более просто [8–10].

Технологические свойства СФБ смесей позволяют изготавливать эле-



Рис. 5. Железобетонная опора автомобильного моста через 32 года эксплуатации

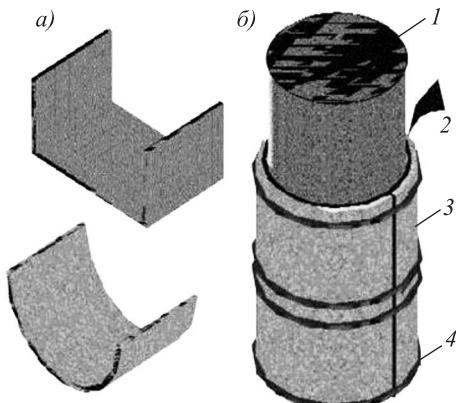


Рис. 6. Схема ремонта железобетонной опоры автодорожного моста с использованием несъемной опалубки
 а – сборные тонкостенные сталефибробетонные гнутые профили несъемной опалубки;
 б – общий вид восстановления опоры
 1 – существующая ЖБ опора; 2 – омоноличивание СФБ смесью; 3 – сборный СФБ элемент;
 4 – бандаж

менты конструкций методом гнутья свежеотформованной плоской заготовки.

Такой метод формования сокращает металлоемкость форм, упрощает технологию формования, снижает затраты на изготовление. На одной формовочной установке можно формовать гнутые швеллеры, уголки, П-образные профили, криволинейные элементы (см. рис. 2).

Технология изготовления элементов конструкций на основе СФБ методом гнутья в общем виде состоит из следующих этапов: формование плоской заготовки, приданье проектной формы изделию, его твердение в заданном положении и распалубка [10]. Формование гнутых СФБ профилей из плоской заготовки на основе мелкозернистого бетона из жестких и малоподвижных смесей не требует сложного специального формовочного оборудования и возможно на любом предприятии по производству ЖБИ и даже в условиях стройплощадки.

Заключение. Использование СФБ гнутых профилей в качестве несъемной опалубки открывает возможность снизить стоимость и трудоемкость возведения объектов из монолитных железобетонных конструкций, а также применять их и при производстве ряда сборных железобетонных конструкций в условиях стройплощадки или стационарных условий завода ЖБИ. Несъемную опалубку из СФБ гнутых профилей можно рекомендовать как перспективный вариант реконструкции и восстановления элементов конструкций зданий и сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Звездов А.И. и др. Проблемы и пути развития современного железобетона // Бетон и железобетон. 2015. № 4. С. 2–8.
2. Мачкевич А.Ф. Несъемная опалубка монолитных железобетонных конструкций. М.: Стройиздат, 1986. 96 с.
3. Баженов Ю.М. Технология бетонных и железобетонных изделий: учеб. для вузов. М.: Стройиздат, 1984. 672 с.
4. А. с. 1199890 СССР. Армоопалубочная плита / Ф.А. Гофштейн, Ф.Н. Рабинович, Ю.В. Фролов, А.М. Туголуков. Опубл. 1985. Бюл. № 47. 4 с.
5. А. с. 948668 СССР. Опалубка для формования изделий из армированного бетона / О.В. Астафьев, Л.Г. Курбатов, Ф.Н. Рабинович, Ю.В. Фролов. Опубл. 1982. Бюл. № 29. 6 с.

6. А р у п Д. СРС – Сфера применения высокоеффективного фибробетона // СРІ – Международное бетонное производство. 2007. № 4. С. 108–115.
7. Р а б и н о в и ч Ф.Н. Композиты на основе дисперсно армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции: моногр. М.: Изд-во АСВ, 2011. 642 с.
8. Т а л а н т о в а К.В., М и х е е в Н.М. Малоэтажный жилой дом с применением элементов конструкций на основе сталефибробетона // Проектирование и строительство в Сибири. Новосибирск, 2008. № 4. С. 32–33.
9. Т а л а н т о в а К.В. Сталефибробетон в восстановлении и усилении опор автодорожных мостов // Дефекты зданий и сооружений. Усиление строительных конструкций: сб. науч. ст. XIX науч.-метод. конф. ВИТУ. СПб., 2015. С.154–157.
10. М и х е е в Н.М., Т а л а н т о в а К.В. Технология формования тонкостенных элементов конструкций на основе сталефибробетона // Проектирование и строительство в Сибири. Новосибирск, 2008. № 6. С. 4–5.

Таланрова Клара Васильевна, д-р техн. наук, проф.; E-mail: talant_bar@mail.ru
Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

Получено после доработки 21.06.17

Talantova Klara Vasilievna, DSc, Professor;
E-mail: talant_bar@mail.ru
Petersburg State Transport University of Emperor Alexander I, Russia

RETAINED FORMWORK OF STEEL FIBER CONCRETE BENT SECTIONS

In modern practice of construction the noticeable place is taken by monolithic reinforced concrete structures, which are constructing, as is well known, either using the fit-in or retained formwork. It is possible to expand function of formwork as form-building element by including it in the effective section of the designed structure using composite – steel fiber concrete, which properties can be operated over a wide range. Applying of steel fiber concrete makes it possible to use ways of forming, unconventional for fabricating techniques of reinforced concrete structures. Especially it is shown at forming of light formed products and structures of a complex configuration. At the same time it is necessary to carry out calculation of elements of a steel fiber concrete formwork as a part of the designed structure by means of software (SCAD, Lira, etc.), and their preforming by method of bending of fresh formed flat billet. The proposed solutions allow to reducing consumption of materials, technological equipment for the designed structure at a guarantee of ensuring operational requirements of the last.

К e y w o r d s: monolithic reinforced concrete structures, retained formwork, light formed section, steel fiber concrete, forming by method of bending, flat billet, comparative characteristics, technical and economical parameters.

REFERENCES

1. Zvezdov A.I. et al. Problemy i puti razvitiya sovremennoogo zhelezobetona [Problems and ways of development modern reinforced concrete]. Beton i zhelezobeton [Concrete and reinforced concrete]. 2015. No. 4. Pp. 2–8. (in Russian)
2. Matskevich A.F. Nes"emnaya opalubka monolitnykh zhelezobetonnykh konstruktsiy [Retained formwork of monolithic reinforced concrete structures]. Moscow, Stroyizdat, 1986. 96 p. (in Russian)

3. B a z h e n o v Yu.M. Tekhnologiya betonnykh i zhelezobetonnykh izdeliy [Technology of concrete and reinforced products]. Moscow, Stroyizdat, 1984. 672 p. (in Russian)
 4. C. c. 1199890 USSR. Armoopalybochnaya plita [Reinforced forming slab]. F.A. Gofstein, F.N. Rabinovich, Yu.V. Frolov, A.M. Tugolukov. Publ. 1985. Bull. No. 47. 4 p. (in Russian)
 5. C. c. 948668 USSR. Opalubka dlya formovaniya izdeliy iz armirovannogo betona [Formwork for casting products from dispersion-reinforced concrete]. O.V. Astafiev, L.G. Kurbatov, F.N. Rabinovich, Yu.V. Frolov. Publ. 1982. Bull. No. 29. 6 p. (in Russian)
 6. A a r u p D. CRC – Sfery primeneniya vysokoeffektivnogo fibrobetona [CRC – High-performance fiber-reinforced concrete areas of application]. CPI – Mezhdunarodnoe betonnoe proizvodstvo [Worldwide. Concrete Plant International]. 2007. No. 4. Pp. 108–115. (in Russian)
 7. R a b i n o v i c h F.N. Kompozity na osnove dispersno armirovannykh betonov. Voprosy teorii i proektirovaniya, tekhnologiya, konstruktsii: monografiya [Composites based on dispersion-reinforced concrete. Theory and design, technology, constructions: monograph]. Moscow, Publishing DIA, 2011. 642 p. (in Russian)
 8. T a l a n t o v a K.V., M i c h e e v N.M. Maloetazhnyy zhiloy dom s primenением elementov konstruktsiy na osnove stalefibrobetona [Low-rise building applied with elements of structures based on steel fiber concrete]. Proektirovanie i stroitel'stvo v Sibiri [Design and construction in Siberia]. Novosibirsk, 2008. No. 4. Pp. 32–33. (in Russian)
 9. T a l a n t o v a K.V. Stalefibrobeton v vosstanovlenii i usilenii opor avtodorozhnykh mostov [Steel fiber concrete in rehabilitation and strengthening of highway bridges buttresses]. Defekty zdaniy i sooruzheniy. Usilenie stroitel'nykh konstruktsiy [Defects of buildings and constructions. Strengthening of building constructions: collection of scientific articles XIX scientific and methodical conference SPMEU]. St-Petersburg, 2015. Pp. 154–157. (in Russian)
 10. M i c h e e v N.M., T a l a n t o v a K.V. Tekhnologiya formovaniya tonkostennnykh elementov konstruktsiy na osnove stalefibrobetona [Technology of forming thin-walled structure elements based on steel fiber concrete]. Proektirovanie i stroitel'stvo v Sibiri [Design and construction in Siberia]. Novosibirsk, 2008. No. 6. Pp. 4–5. (in Russian)
-

УДК 624. 131.5

О.А. КОРОБОВА, Л.А. МАКСИМЕНКО, А.А. ШЕСТЕРНЁВА

К ВОПРОСУ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРЕДЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ АНИЗОТРОПНЫХ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ

Статья посвящена одному из важнейших вопросов исследования напряженно-деформированного состояния – вопросу об учете деформационной анизотропии грунтов в расчетах грунтовых оснований. Целью статьи являлось выявление влияния деформационной анизотропии грунта на характерные зоны грунтового основания и на величину расчетного сопротивления грунта. Для этого были решены следующие задачи: исследовано влияние деформационной анизотропии на величину и характер распределения напряжений и деформаций в характерных зонах линейно-деформируемых грунтовых оснований с реализацией на ЭВМ, а также произведена оценка эффективности учета деформационной анизотропии грунта в расчетах оснований. Основные теоретические исследования проводились с применением системного подхода, теории упругости анизотропного тела, теории моделирования, теории математического планирования и метода конечных элементов. В результате исследований выявлено влияние изменяемости показателей деформационной анизотропии на величину расчетного сопротивления грунта основания. Установлено, что учет деформационной анизотропии грунта в исследуемых характерных зонах приводит к изменению размеров зон сдвигов и величины расчетного сопротивления грунта основания, а следовательно, и требуемых размеров подошвы фундаментов. При увеличении значения показателя анизотропии в каждой из рассмотренных зон происходит нарастание признаков, соответствующих появлению условий предельного напряженного состояния, что, в свою очередь, позволяет оценить степень приближения напряженного состояния грунтового основания к предельному и возможность прогнозирования тенденций к упрочнению или разрушению анизотропной грунтовой среды в каждой из рассмотренных зон.

Ключевые слова: деформационная анизотропия, показатель деформационной анизотропии, метод конечных элементов, характерные зоны грунтового основания, предельное напряженное состояние.

Главной проблемой современного строительства является надежное прогнозирование напряженно-деформированного состояния (НДС) грунтовых оснований, что позволяет получить наиболее экономичные варианты фундаментов при обеспечении достаточной безопасности в процессе их эксплуатации. Расчетные модели можно считать надежными и экономичными только в том случае, если они достаточно полно отражают реальные свойства грунтов и явления, происходящие в грунтовых основаниях при действии внешних нагрузок. Один из важнейших вопросов исследования НДС – учет деформационной анизотропии грунтов в расчетах оснований, так как многочисленные исследования [1–3 и др.] подтверждают наличие у всех природных нескальных грунтов свойства деформационной анизотропии, а нормативные

документы по расчету грунтовых оснований рекомендуют учитывать анизотропность грунтов, что часто связано с трудностями, заключающимися в отсутствии простых и эффективных методов учета деформационной анизотропии, а также способов определения расчетных параметров анизотропного грунта [4–6]. Успешное решение этих задач невозможно без применения численных и математических методов в формировании расчетной модели, одной из составных частей которой является исследование НДС анизотропных грунтовых оснований [7–9].

По результатам численного эксперимента авторами была разработана новая методика численного решения задач о НДС анизотропных грунтовых оснований, позволяющая оценить степень влияния деформационной анизотропии среды на величину и характер всех компонент напряжений и деформаций линейно-деформируемых слоев различной мощности и полуплоскости. Кроме того, впервые получена полная картина НДС анизотропных слоев различной мощности (и полуплоскости) при широком диапазоне изменения показателей анизотропии, характерных видах внешней распределенной нагрузки, при крайних возможных значениях жесткости и разном заглублении фундаментов; установлено влияние изменяемости показателей деформационной анизотропии на величину расчетного сопротивления R грунта основания [10–12]. Учет анизотропии грунта приводит к изменению размеров зон сдвигов и величины расчетного сопротивления грунта R , следствием чего является необходимость проведения корректировки размеров фундаментов по сравнению с размерами, установленными без ее учета. В связи с этим, прогнозирование предельного напряженного состояния анизотропных грунтовых оснований является актуальной задачей и обладает научной новизной.

Авторами было исследовано изменение напряженного состояния полуплоскости в трех ее характерных зонах – в зоне I (будущей зоне сдвигов, расположенной под кромкой загруженного участка полуплоскости), в зоне II (потенциальной области уплотненного ядра, расположенной под средней частью загруженного участка), в зоне III (области, расположенной под вершиной потенциального грунтового ядра). Численный эксперимент был проведен с применением теории математического планирования и метода конечных элементов. Напряженное состояние каждой из зон оценивалось осредненными значениями компонент σ_z , σ_x , τ_{zx} , вычисленных для конечных элементов, составляющих соответствующую зону. Исследования позволили оценить степень приближения напряженного состояния грунтового основания к предельному. Для этого в каждой характерной зоне в целом, а также для каждой точки в пределах выделенной зоны, вычислялись величины главных напряжений, определялся θ_{\max} – угол наибольшего отклонения полного давления от нормали к площадке, на которой оно действует. Значения θ_{\max} вычислены по формуле

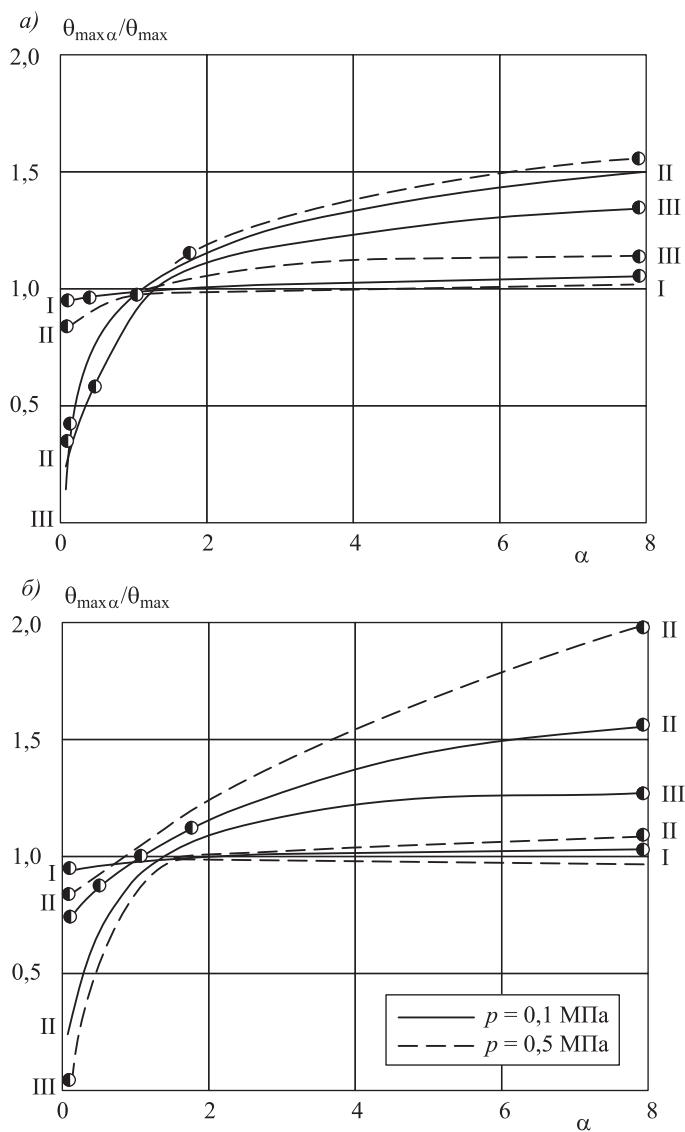
$$\sin \theta_{\max} = (\sigma_1 - \sigma_3)/(\sigma_1 + \sigma_3 + 2c \operatorname{ctg} \varphi), \quad (1)$$

где σ_1 и σ_3 – осредненные значения главных напряжений в прямоугольных конечных элементах зоны I.

Напряжения σ_1 и σ_3 определены по известным зависимостям теории напряжений при осредненных (для каждой из зон I–III) значениях напряжений σ_z , σ_x и τ_{zx}

$$\sigma_{1,3} = \frac{(\sigma_z + \sigma_x)}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_z - \sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_{zx}^2}. \quad (2)$$

В случае несвязного грунта удельное сцепление в грунте $c = 0$. Зависимость отношения $\theta_{\max\alpha}/\theta_{\max}$ от показателя анизотропии α при $\rho = 0,1$ и $0,5$ МПа представлена на рисунке. Как было установлено, практически неизменным при изменении α ($\alpha = E_z/E_x$, где E_z и E_x – модули деформации в вертикальном и горизонтальном направлениях) значениям σ_z (в зонах I–III)



Влияние анизотропии на величину θ_{\max} для зоны в целом (a)
и для точки зоны (б)

соответствуют увеличивающиеся (при $\alpha < 1$) или уменьшающиеся (при $\alpha > 1$) по сравнению с решением изотропной среды значения σ_x и τ_{zx} . Это обстоятельство усиливает или снижает тенденцию к появлению сдвигов в этих зонах. Так, расчетом установлено, что при значениях $\alpha = 1; 2$ и $0,5$ ($v_{zx} = v_{yx} = 0,30$) среднее для зоны I значение угла наибольшего отклонения $\theta_{\max} = 63, 79$ и 48° соответственно. Это означает, что при прочих равных условиях показателю $\alpha = 2$ будет соответствовать уменьшенное значение расчетного сопротивления грунта основания R , а показателю $\alpha = 0,5$ – увеличенное по сравнению с расчетным сопротивлением, установленным для изотропной полуплоскости.

В зоне II значениям $\alpha = 1; 2$ и $0,5$ соответствуют величины $\theta_{\max} = 30, 41$ и 11° ; в зоне III – $\theta_{\max} = 52, 60$ и 39° . Как видно, в каждой из зон влияние изменения α на величину θ_{\max} качественно одинаково. Однако при любом значении α угол θ_{\max} в зоне I больше, чем в других зонах, в зоне II он минимален. Эти данные хорошо согласуются с экспериментальными результатами, свидетельствующими о развитии областей сдвигов в зоне I и появлении уплотненного ядра в зоне II, где напряженное состояние далеко от предельного.

Примеры вычисления угла наибольшего отклонения θ_{\max} для зон I–III приведены в таблице.

Пример вычисления угла наибольшего отклонения при $v = 0,3$

Показатель	$E_z = E_x, \alpha = 1$	$E_z > E_x, \alpha = 2$	$E_z < E_x, \alpha = 0,5$
1	2	3	4
<i>Зона I</i>			
$\sigma_z, \text{МПа}$	0,161	0,161	0,161
$\sigma_x, \text{МПа}$	0,037	0,017	0,078
$\tau_{zx}, \text{МПа}$	0,063	0,050	0,080
$A. (\sigma_z + \sigma_x)/2$	0,099	0,0890	0,1195
$(\sigma_z - \sigma_x)/2$	0,062	0,0720	0,0415
$((\sigma_z - \sigma_x)/2)^2$	0,003844	0,005184	0,001521
τ_{zx}^2	0,003969	0,00250	0,0064
$B. \sqrt{((\sigma_z - \sigma_x)/2)^2 + \tau_{zx}^2}$	0,08839	0,087658	0,089
$\sigma_1 = A + B$	0,18739	0,17666	0,2085
$\sigma_3 = A - B$	0,01061	0,001342	0,0305
$(\sigma_1 - \sigma_3)/(\sigma_1 + \sigma_3)$	0,8928	0,985	0,745
$\sin \theta_{\max}$	0,8928	0,985	0,745
$\theta_{\max}, \text{град.}$	63,13	79	48,12
Степень приближения напряженного состояния к предельному	Эталон R , при $p = \text{const} - b$	Основание слабее, чем при $\alpha = 1, R_1 < R$, при $b = \text{const} - b_1 > b$	Основание прочнее, чем при $\alpha = 1, R_2 > R$, при $p = \text{const} - b_2 < b$
	В пределе F_u	Одноосное сжатие $F_{u1} < F_u$	Компрессия $F_{u2} > F_u$
<i>Зона II</i>			
$\sigma_z, \text{МПа}$	0,310	0,310	0,310
$\sigma_x, \text{МПа}$	0,110	0,064	0,210
$\tau_{zx}, \text{МПа}$	0,002	0,004	0,003

Окончание таблицы

1	2	3	4
A. $(\sigma_z + \sigma_x)/2$	0,21	0,187	0,260
$(\sigma_z - \sigma_x)/2$	0,10	0,123	0,050
$((\sigma_z - \sigma_x)/2)^2$	0,01	0,01513	0,0025
τ_{zx}^2	0,000004	0,000016	0,000009
Б. $\sqrt{((\sigma_z - \sigma_x)/2)^2 + \tau_{zx}^2}$	0,10	0,123	0,05
σ_1	0,31	0,31	0,31
σ_3	0,11	0,064	0,21
$(\sigma_1 - \sigma_3)/(\sigma_1 + \sigma_3)$	0,51	0,66	0,19
$\sin \theta_{\max}$	0,5	0,66	0,19
θ_{\max} , град.	30	41,18	11
Степень приближения напряженного состояния к предельному	Эталон R, b	Слабее $R_1 < R, b_1 > b$	Прочнее $R_2 > R, b_2 < b$
	В пределе F_u	Одноосное сжатие $F_{u1} < F_u$	Компрессия $F_{u2} > F_u$

Зона III

σ_z , МПа	0,311	0,315	0,303
σ_x , МПа	0,036	0,022	0,068
τ_{zx} , МПа	0,003	0,001	0,010
A. $(\sigma_z + \sigma_x)$	0,347	0,337	0,371
$(\sigma_z - \sigma_x)$	0,275	0,293	0,235
$\sin \theta_{\max}$	0,79	0,87	0,64
θ_{\max} , град.	52,12	60,5	39,4
Степень приближения напряженного состояния к предельному	Эталон R	Слабее $R_1 < R$	Прочнее $R_2 > R$
	В пределе F_u	Одноосное сжатие $F_{u1} < F_u$	Компрессия $F_{u2} > F_u$

Соотношение между b , b_1 и b_2 определяется соотношением полных (природных плюс дополнительных) главных напряжений, а не только соотношений исследованных напряжений от нагрузки, которую можно считать дополнительной (к природной). Осадки фундамента зависят от $\alpha = E_z/E_x$ и от величины E_z (в большей степени, чем от α). Полученные расчетом компоненты напряжений σ_z , σ_x и τ_{zx} достаточны для полной оценки напряженного состояния полуплоскости и выявления тенденции к упрочнению или разрушению анизотропной среды в каждой из рассмотренных зон I–III при изменении показателя анизотропии α .

Выводы. Учет деформационной анизотропии грунта в зонах I–III приводит к изменению размеров зон сдвигов и величины расчетного сопротивления грунта R , следствием чего является необходимость проведения корректировки размеров фундаментов по сравнению с размерами, установленными без ее учета. При возрастании показателя анизотропии α в каждой из рассмотренных зон I–III происходит нарастание признаков, соответствующих появлению условий предельного напряженного состояния, что необходимо учитывать в расчетах грунтовых оснований, что, в свою очередь, позволит повысить обоснованность, точность и надежность принимаемых решений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Писаненко В.П. Об анизотропии деформационных свойств глинистых грунтов Новосибирского Приобья // Труды Новосибирского ин-та инженеров ж.-д. транспорта. 1977. Вып. 180. С. 80–83.
2. Лукинская И.Г. Исследование строительных свойств ленточных отложений севера Белоруссии: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Минск, 1972. 19 с.
3. Вулис П.Д. Исследование анизотропии деформационных свойств глинистых грунтов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Свердловск, 1973. 25 с.
4. Бугров А.К., Голубев А.И. Анизотропные грунты и основания сооружений. СПб.: Недра, 1993. 245 с.
5. Кузьмичий В.А. К вопросу об определении деформационных характеристик анизотропных грунтов // Строительные конструкции и теория сооружений. Основания, фундаменты и механика грунтов: Респ. межвед. сб. / Госстрой БССР. Ин-т стр-ва и архитектуры. Минск: Вышш. шк., 1973. Вып. 2. С. 243–251.
6. Рогаткина Ж.Е. Влияние анизотропии глинистых грунтов на физико-механические свойства // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1967. № 1. С. 14–15.
7. Гольдштейн М.Н., Лапкин В.Б. К вопросу о распределении напряжений в трансверсально-изотропной грунтовой среде // Вопросы геотехники. Днепропетровск, 1972. № 21. С. 68–85.
8. Лапкин В.Б. Исследование влияния поперечной анизотропии на напряженно-деформированное состояние анизотропных оснований сооружений: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Киев, 1979. 31 с.
9. Масанов Ж.К., Жолдасова Ш.А., Атымтаева Л.Б., Жоламанова З.Х. Упругое, упругопластическое состояние полостей в анизотропном массиве // Труды 1-го Центрально-Азиатского геотехн. симпоз. (25–28 мая 2000 г.). Астана, 2000. Т. 1. С. 240–242.
10. Коробова О.А., Максименко Л.А. Методы усовершенствования расчета осадок грунтовых оснований // Интерэкспо Гео-Сибирь: Сб. материалов XI Междунар. науч. конф. (13–25 апреля 2015 г.). Новосибирск: СГУГиТ, 2015. Т. 1, № 1. С. 194–199.
11. Коробова О.А., Бочарова М.А., Дединя А.В., Латышева А.П., Шестернёва А.А. К методике обработки результатов лабораторных исследований деформационной анизотропии грунтов // Сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч.-практ. конф. «Теоретические и прикладные вопросы науки и образования». (30 июля 2016 г.). Тамбов, 2016. Ч. 1. С.77–80.
12. Коробова О.А., Максименко Л.А. Результаты исследования численными методами влияния мощности анизотропных линейно-деформируемых слоев на их осадки // Интерэкспо Гео-Сибирь: сб. материалов XII Междунар. науч. конф. (18–22 апр. 2016 г.). Новосибирск: СГУГиТ, 2016. Т. 2. С. 125–131.

Коробова Ольга Александровна, д-р техн. наук, проф.;

E-mail: oakorobova@mail.ru

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Максименко Любовь Александровна, канд. техн. наук, доц.;

E-mail: maksimenko_la@mail.ru

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск

Шестернёва Анна Антоновна, асп.; E-mail: anyta934@rambler.ru

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено после доработки 05.06.17

Korobova Olga Alexandrovna, DSc, Professor; E-mail: oakorobova@mail.ru
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia
Maksimenko Lyubov Alexandrovna, PhD, Ass. Professor; E-mail: maksimenko_la@mail.ru
Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia
Shesterneva Anna Antonovna, Post-graduate Student; E-mail: anyta934@rambler.ru
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

TO THE PROBLEM OF FORECASTING THE LIMIT STRESS OF ANISOTROPIC GROUND BASES

The article is devoted to one of the most important problems in the study of the stress-strain state – the problem of taking into account the deformation anisotropy of soils in calculations of soil bases. The purpose of the article was to reveal the effect of the deformation anisotropy of the soil on the characteristic zones of the soil base and on the value of the calculated soil resistance. For this purpose, the following problems were solved: the effect of deformation anisotropy on the magnitude and nature of the distribution of stresses and deformations in characteristic zones of linearly deformed soil bases with the implementation on a computer, as well as an estimation of the efficiency of taking into account the deformation anisotropy of the soil in the calculations of the bases. The main theoretical studies were carried out using the system approach, the theory of elasticity of an anisotropic method, the theory of modeling, the theory of mathematical planning, and the finite element method. As a result of the investigation, the influence of the changeability of the deformation anisotropy indices on the value of the design resistance R of the base soil was revealed. It has been established that taking into account the deformation anisotropy of the soil in the investigated characteristic zones leads to a change in the size of the shear zones, as well as to changes in the design resistance of the foundation soil, and, consequently, the required dimensions of the foundation base. With an increase in the value of the anisotropy index α , in each of the considered zones, there is an increase in the signs corresponding to the appearance of conditions for the limiting stress state, which in turn makes it possible to estimate the degree of approximation of the stressed state of the soil base to the limiting one and the possibility of predicting the tendencies to hardening or destruction anisotropic soil medium in each of the considered zones.

K e y w o r d s: deformation anisotropy, deformation anisotropy index, finite element method, relevant zones of soil foundation, ultimate stress state.

REFERENCES

1. Pisarenko V.P. Ob anizotropii deformatsionnykh svoystv glinistykh gruntov Novosibirskogo Priob'ya [The Anisotropy of the deformation properties of clayey soils of the Novosibirsk Ob region]. Trudy Novosibirskogo instituta inzhenerov zheleznodorozhnogo transporta [Proceedings of the Novosibirsk Institute of eng. well.-d. transp]. Novosibirsk, 1977. Vol. 180. P. 80–83. (in Russian)
2. Lukinskaya I.G. Issledovanie stroitel'nykh svoystv lentochnykh otlozheniy severa Belorussii: avtoref. dis. ... kand. geol.-mineral. nauk [The Study of construction characteristics of the tape by othlo proposals of the North of Belarus: author. dis. ... PhD]. Minsk, 1972. 19 p. (in Russian)
3. Vulis P.D. Issledovanie anizotropii deformatsionnykh svoystv glinistykh gruntov: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Investigation of anisotropy of the deformation properties of the glee is necessary soils: author. dis. ... PhD]. Sverdlovsk, 1973. 25 p. (in Russian)

4. Bugrov A.K., Golubev A.I. Anizotropnye grunty i osnovaniya sooruzheniy [Anisotropic soils and foundations of structures]. Saint-Petersburg, 1993. 245 p. (in Russian)
5. Kuzmitzkiy V.A. K voprosu ob opredelenii deformatsionnykh kharakteristik anizotropnykh gruntov [To the question of determining the deformation characteristics of anisotropic soils]. Stroitel'nye konstruktsii i teoriya sooruzheniy. Osnovaniya, fundamenti i mekhanika gruntov [Building Construction and theory of structures. The bases, foundations and soil mechanics]. Minsk, 1973. Vol. 2. Pp. 243–251. (in Russian)
6. Rogatkin Zh.E. Vliyanie anizotropii glinistykh gruntov na fiziko-mekhanicheskie svoystva [The Effect of anisotropy of clayey soils on physical and mechanical properties]. Osnovaniya, fundamenti i mekhanika gruntov [Of the Bases, foundations and soil mechanics]. 1967. No. 1. Pp. 14–15. (in Russian)
7. Goldstein M.N., Lapkin V.B. K voprosu o raspredelenii napryazheniy v transversal'no-izotropnoy gruntovoy srede [To the question of the distribution of the voltage stresses in a transversely isotropic soil medium]. Voprosy geotekhniki [Problems of geotechnics]. Dnepropetrovsk, 1972. No. 21. Pp. 68–85. (in Russian)
8. Lapkin V.B. Issledovanie vliyaniya poperechnoy anizotropii na napryazhennodeformirovannoe sostoyanie anizotropnykh osnovaniy sooruzheniy: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Study of the influence of transverse anisotropy on the stress-strain state of anisotropic ground structures: author. dis. ... PhD]. Kiev, 1979. 31 p. (in Russian)
9. Masanov Zh.K., Zholdasova Sh.A., Atymtayeva L.B., Zholamanova Z.H. Uprugoe, uprugoplasticheskoe sostoyanie polostey v anizotropnom massive [Elastic, elastic-plastic condition of the cavities in anisotropic massif]. Trudy 1-go Tsentral'nogo-Aziatskogo geotekhnicheskogo simpoziuma (25–28 maya 2000 g.) [Proceedings of the 1st Central Asian geotechnics. Symposium (25–28 may 2000)]. Astana, 2000. Vol. 1. Pp. 240–242. (in Russian)
10. Korobova O.A., Maksimenko L.A. Metody usovershenstvovaniya rascheta osadok gruntovykh osnovaniy [Methods of improvement of calculations-the sediment of soil base]. Interekspo Geo-Sibir': sbornik materialov XI Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii (13–25 aprelya 2015 g.) [Interexpo geo-Siberia: Sat. materials of the XI Intern. scientific. Conf. (13–25 April 2015)]. Novosibirsk, 2015. Vol. 1, No. 1. Pp. 194–199. (in Russian)
11. Korobova O.A., Bocharova M.A., Dedina A.V., Latysheva A.P., Shesterneva A.A. K metodike obrabotki rezul'tatov laboratornykh issledovaniy deformatsionnoy anizotropii gruntov [To the method of processing the results of laboratory tests deformational anisotropy of soils]. Sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Teoreticheskie i prikladnye voprosy nauki i obrazovaniya" (30 iyulya 2016 g.) [Proc. scientific. proceedings of Intern. scientific.-pract. Conf. "Theoretical and practical issues of science and education" (30 July 2016)]. Tambov, 2016. P. 1. Pp. 77–80. (in Russian)
12. Korobova O.A., Maksimenko L.A. Rezul'taty issledovaniya chislennymi metodami vliyaniya moshchnosti anizotropnykh lineyno-deformiruemых sloev na ikh osadki [The results of the study numerical-governmental methods impact the capacity of an anisotropic linear deformable layers on their deposits]. Interekspo Geo-Sibir': sbornik materialov XII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii (18–22 aprelya 2016 g.) [Interexpo geo-Siberia: Sat. materials of the XII Intern. scientific. Conf. (18–22 April 2016)]. Novosibirsk, 2016. T. 2. Pp. 125–131. (in Russian)

УДК 624.138.24 : 624.15

А.Л. ЛАНИС, А.М. ПОПОВ, П.О. ЛОМОВ

УСТРОЙСТВО ОСНОВАНИЙ МЕТОДОМ РАСКАТКИ СКВАЖИН С ИНЪЕКТИРОВАНИЕМ ТВЕРДЕЮЩЕГО РАСТВОРА

Возвведение зданий и сооружений в стесненных городских условиях на грунтовых основаниях с низкими физико-механическими характеристиками затруднено и требует предпостроечного усиления. Кроме того, из-за наличия слабых грунтовых прослоев возникает необходимость использования комбинированных способов усиления грунтов. В статье представлено исследование, решающее задачу определения граничных грунтовых условий применения комбинированного способа усиления. Результаты исследования позволили разработать технологию и новое оборудование для комбинированного способа усиления грунтов путем инъектирования твердеющего раствора в раскатанные скважины. Выявлены грунтовые условия, в которых рекомендуется использование этого способа.

Ключевые слова: раскатка скважин, напорное инъектирование, усиление грунтов, уплотнение грунтов, комбинированное усиление.

Проблема использования строительных площадок со сложными инженерно-геологическими условиями является актуальной для крупных городов. В связи с ростом темпов возведения новых многоэтажных зданий и сооружений также возникает необходимость в использовании площадок в стесненных городских условиях. Строительные нормы требуют от строительных и проектных организаций решений и конструкций, обеспечивающих достаточный уровень надежности и безопасности вновь возводимых зданий и сооружений. Отдельное внимание уделяется основанию и фундаментам.

На площадках с неоднородными грунтовыми условиями широко используются свайные фундаменты, имеющие необходимый уровень надежности и безопасности строящихся зданий. Однако свайный фундамент не всегда экономически целесообразен и в ряде случаев обладает существенным недостатком, таким как значительное динамическое влияние на расположенные рядом сооружения [1]. Кроме того, требуется проведение предварительных испытаний, что существенно продлевает сроки подготовки основания и фундаментов строящихся зданий.

В последнее десятилетие широкое распространение в стесненных городских условиях получили способы, основанные на инъектировании твердеющих растворов и устройстве набивных свай в пробуренных или раскатанных скважинах [2]. Одним из эффективных способов усиления неоднородных грунтов и прослоев с более низкими физико-механическими характеристиками является напорная инъекция [3]. Способ эффективен при устройстве плитного фундамента и хорошо зарекомендовал себя при реконструкции зданий и сооружений. Эта технология позволяет выполнять усиление путем нагнетания твердеющего грунтоцементного раствора в грунтовую толщу через

инъекторы на необходимую глубину с относительно небольшими трудовыми и экономическими затратами.

На площадках, сложенных однородными супесями и суглинками, высокую экономическую эффективность подтвердило устройство набивных свай в раскатанных скважинах [4, 5]. Способ широко используется в гражданском строительстве в городах Сибирского федерального округа, применим он и в сфере транспортного строительства [6, 7]. Описанные выше способы, несмотря на значительные преимущества, имеют ряд ограничений. Это касается грунтовых условий, глубины усиления, требуемых характеристик грунтов, сроков выполнения работ, конфигурации фундаментов. Для усиления оснований, сложенных неоднородными грунтами с преобладанием в нижней части разреза пластичных супесей, суглинков от мягкопластичной до текучепластичной консистенции, необходимо совершенствование способа и оборудования. В таких условиях происходит интенсивное затягивание скважин за счет упругих и пластических деформаций в грунте при его раскатке [8]. В результате чего изменяется влияние набивных свай на работу усиленного массива. Для повышения эффективности усиления необходимо установление рекомендуемых граничных грунтовых условий, при которых нужно корректировать выбор расчетной схемы в зависимости от требуемых проектных параметров.

Для решения этих вопросов было проведено исследование, направленное на определение грунтовых условий для применения комбинированного способа усиления грунтов, сочетающего особенности способов раскатки скважин и напорного инъектирования.

Исследование выполнялось с использованием трехфакторного дисперсионного анализа по методу латинских квадратов. За основу исследования приняты грунтовые массивы с раскатанными скважинами. Опытная часть заключалась в раскатке скважин и прямых замерах фактических диаметров скважин. При камеральной обработке опытов высчитывался коэффициент деформации скважины за счет влияния упругих и пластических деформаций грунта при раскатке. Коэффициент деформации определялся по формуле

$$\delta = \frac{d_1}{d_0}, \quad (1)$$

где d_1 – фактический диаметр скважины, м;

d_0 – исходный диаметр скважины, соответствующий диаметру раскатчика скважины, м.

Для возможности планирования и статистической обработки результатов исследования были выделены три фактора, влияние которых определялось в опытах. Это плотность скелета грунта, показатель текучести (консистенция) грунта и диаметр раскатчика. Варьирование каждого фактора производилось в пяти уровнях. Области определения факторов назначались с учетом технической и экономической целесообразности:

- 1) плотность скелета грунта от 1,35 до 1,60 г/см³;
- 2) показатель текучести (консистенция) грунта от 0 до 1,0 д.е.;
- 3) диаметр раскатчика от 210 до 290 мм.

Планирование экспериментов и статистическая обработка полученных результатов выполнялись с использованием программного комплекса STATISTICA. Схема исследования в виде таблицы сочетания факторов представлена на рис. 1. Для обеспечения необходимого уровня достоверности получаемых результатов все экспериментальные работы проводились в поле-

Код		1	2	3	4	5		
Код	ρ_d , г/см ³	d_0 , мм	I_L , д.е.	210	230	250	270	290
1	1,35..1,40	1	0...0,20					
		2	0,20...0,40			3	4	
		3	0,40...0,60	1				5
		4	0,60...0,80		2			
		5	0,80...1,00					
2	1,40..1,45	1	0...0,20					
		2	0,20...0,40		7			
		3	0,40...0,60			8	9	
		4	0,60...0,80	6				10
		5	0,80...1,00					
3	1,45..1,50	1	0...0,20					
		2	0,20...0,40	11	12			
		3	0,40...0,60			13	14	
		4	0,60...0,80					15
		5	0,80...1,00					
4	1,50..1,55	1	0...0,20					
		2	0,20...0,40	16				20
		3	0,40...0,60		17	18		
		4	0,60...0,80				19	
		5	0,80...1,00					
5	1,55..1,60	1	0...0,20					
		2	0,20...0,40					25
		3	0,40...0,60	21				
		4	0,60...0,80		22	23	24	
		5	0,80...1,00					

Рис. 1. Схема исследования

ρ_d – плотность скелета грунта; I_L – показатель текучести грунта; d – диаметр раскатчика

вых условиях на строительных площадках г. Новосибирска в глинистых грунтах со следующими характеристиками, %:

- число пластичности I_P в интервале от 3 до 11;
- влажность на границе текучести (w_L) от 17 до 27;
- влажность на границе раскатывания (w_P) от 13 до 16;
- природная влажность (w) от 13 до 20.

Для формирования необходимой выборки для статистической обработки полученных материалов все опытные работы проводились в шести повторно-

стях. Диаметры образованных раскатанных скважин замеряли с помощью плоских эталонов круглого сечения. Этalon выполнен в виде жестко соединенного диска и металлического стержня (рис. 2).

Исследования работы грунта при раскатке, помимо получения соответствующих зависимостей, позволили выделить граничные грунтовые условия, для которых возможно использование различных расчетных схем.

Статистическая обработка результатов опытов проводилась с определением степени влияния факторов (с условным обозначением A , B и C) на изменение диаметров скважин по методике, описанной К. Хартманом, Э. Лецким и В. Шефером [9].

Для частных реализаций p^2 выборок (с условным обозначением \bar{y}_{ijk}) результаты наблюдений представляются в виде

$$\bar{y}_{ijk} = m + a_i + b_j + c_k + \bar{e}_{ijk}, \quad (2)$$

где m , a_i , b_j , c_k – постоянные величины.

В ходе дисперсионного анализа выполняется проверка равенства нулю параметров a_i , b_i и c_i путем проверки гипотез H_A (параметры $a_i = 0$, $i = 1(1)p$), H_B (параметры $b_j = 0$, $j = 1(1)p$) и H_C (параметры $c_k = 0$, $k = 1(1)p$).

Гипотезы H_A , H_B и H_C отвергаются при помощи величин S_A^2/S_R^2 , S_B^2/S_R^2 и S_C^2/S_R^2 , которые подчиняются F -распределению с числами степеней свободы $\phi_1 = p - 1$ и $\phi_2 = (p - 1)(p - 2)$. Отвреждение гипотез происходит в том случае, если вычисленные значения больше критического значения F -распределения. Значение критического F -распределения для программы исследования при уровне значимости $\alpha = 0,05$ и числах степеней свободы $\phi_1 = 4$ и $\phi_2 = 12$ составляет $F = 3,2592$.

Для принятой математической модели необходим ввод частных значений \bar{y}_{ijk} , определенных с достаточной степенью достоверности. Достоверность обеспечена путем дополнительных наблюдений значений \bar{y}_{ijk} . В соот-

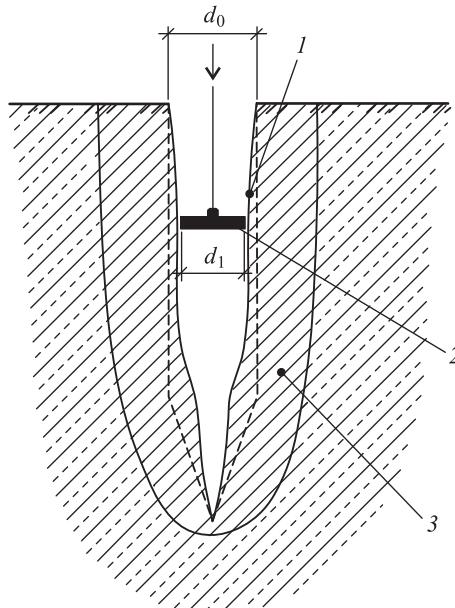


Рис. 2. Схематичный разрез скважины, диаметр которой определяется плоским эталоном

1 – стенки раскатанной скважины; 2 – плоский эталон; 3 – уплотненный грунт

ветствии с рекомендациями ГОСТ 20522–2012 «Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний» наблюдение одного значения выполнялось не менее чем в шести повторностях. Используя распределение Стьюдента, для каждой полученной выборки оценены коэффициент вариации и среднеквадратическое отклонение.

Полученные коэффициенты вариации измеренных значений диаметра скважин не превысили 0,05 при предельно допустимом значении 0,30. Это позволило сделать вывод о том, что среднеарифметические значения наблюдаемого параметра в достаточной степени приближены к истинным значениям. После оценки измеренных значений по критерию Стьюдента сделан вывод об однородности проводимых наблюдений. Выполненный анализ подтвердил достаточную степень достоверности полученных значений \bar{y}_{ijk} .

Графики, отражающие изменение коэффициента деформации скважины в зависимости от плотности скелета грунта и показателя текучести грунта, приведены на рис. 3.

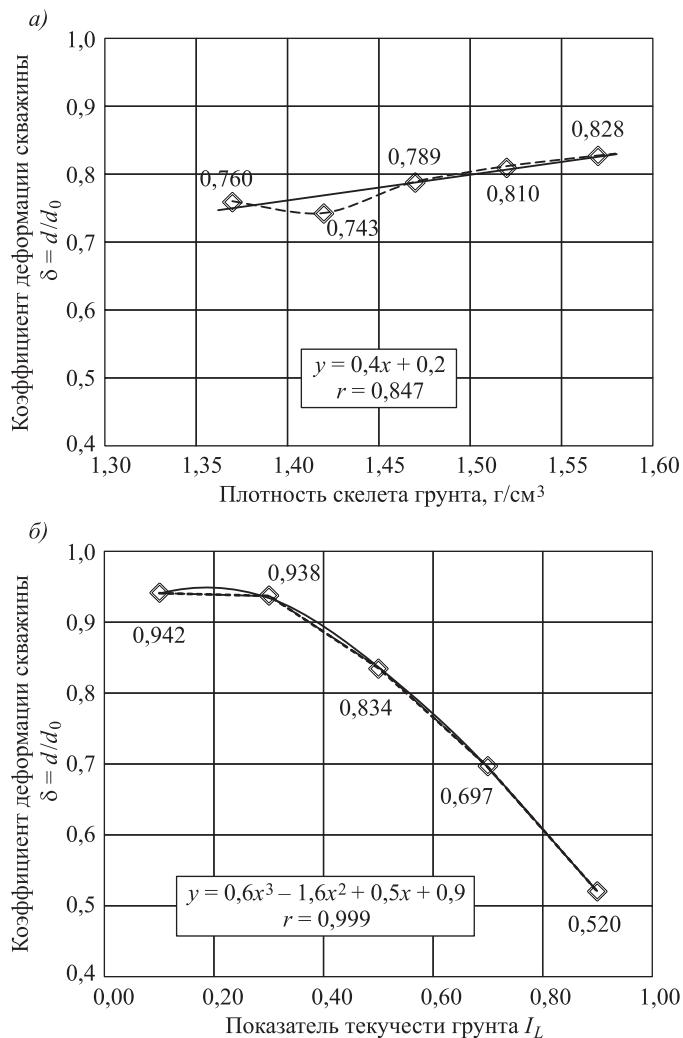


Рис. 3. Усредненная зависимость коэффициента деформации скважины от плотности скелета грунта (а) и показателя текучести грунта (б)

Значения F -критериев Фишера приведены в таблице. Полученные значения следует интерпретировать следующим образом: факторы, значения критериев которых превышают критическое значение ($F = 3,2592$), не коррелируют со средней генеральной функцией выборки и являются значимыми для исследуемой математической модели.

Значения критериев Фишера

Исследуемый фактор	Для контролируемых величин	Критическое
Плотность скелета грунта	1,7551	3,2592
Показатель текучести грунта	46,174	
Бытовое давление	1,316	

При сопоставлении критериев Фишера было установлено, что основное влияние на затягивание раскатанных скважин оказывает показатель текучести грунта. Влияние диаметра раскатчика несущественно. Такой параметр, как плотность скелета грунта, также существенно значимого влияния на сужение раскатанных скважин в рамках проведенного исследования не оказывает.

Поверхность, отражающая влияние грунтовых условий на изменение коэффициента деформации скважины, приведена на рис. 4.

Анализируя полученные результаты, можно выделить граничные грунтовые условия, в которых наблюдается наиболее интенсивное затягивание скважин при раскатке. В большей степени оказывает влияние показатель

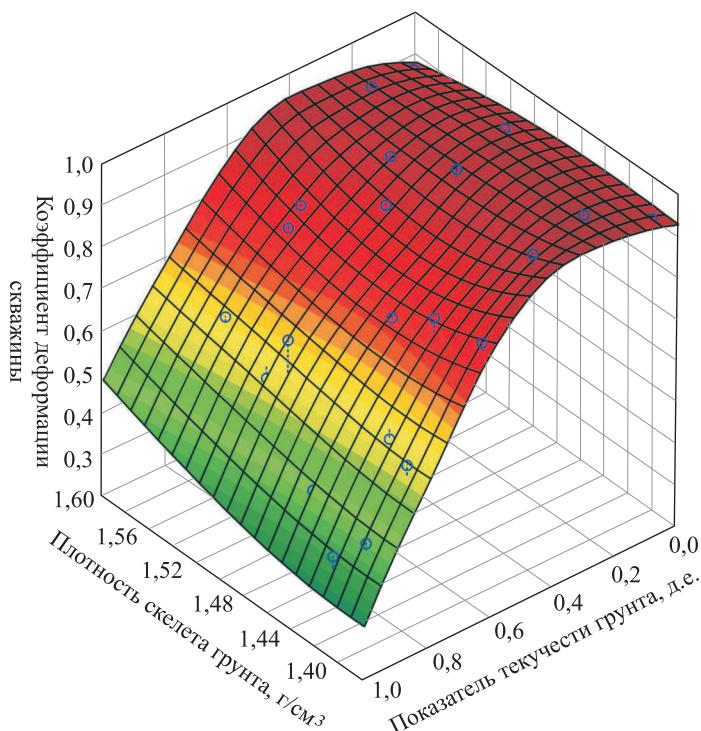


Рис. 4. Поверхность, отражающая влияние грунтовых условий на коэффициент деформации скважин

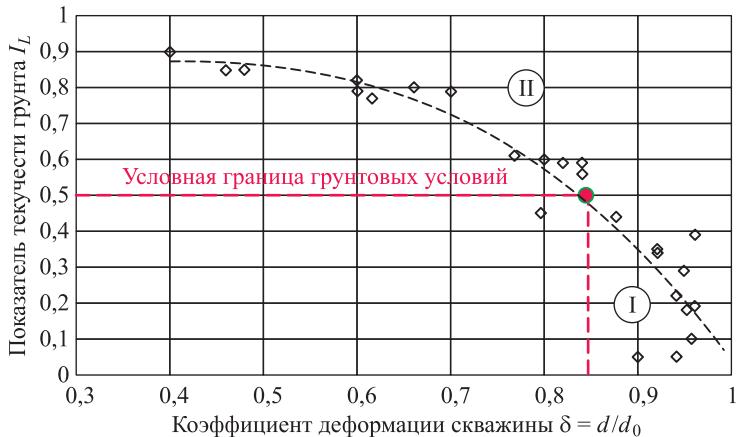


Рис. 5. График, отражающий влияние показателя текучести на коэффициент деформации скважины

текучести грунта. График, отражающий влияние показателя текучести на затягивание скважины, приведен на рис. 5.

На полученном графике можно выделить два участка, которые отражают влияние показателя текучести грунта на деформации скважины при раскатке. Граница участков выбрана на основании требований СП 45.13330.2012 «Земляные сооружения, основания и фундаменты» к допустимому отклонению значения диаметра скважины при изготовлении буровнабивных свай.

Первый участок расположен в интервале показателя текучести от 0 до 0,50 д.е. В этих грунтовых условиях происходит сужение диаметра раскатанной скважины, не превышающее предельно допустимое по табл. 12.1 СП 45.13330.2012 «Земляные сооружения, основания и фундаменты» значение 5 см. При усилении грунтов с показателем текучести от 0 до 0,50 д.е. целесообразнее использовать следующую расчетную схему – массив уплотненного грунта и вертикальных армоэлементов в виде набивных свай.

Второй участок находится в интервале показателя текучести от 0,50 до 1,0 д.е. При раскатке скважин в данных грунтовых условиях происходит значительное сужение диаметра скважин, превышающее допустимое по СП 45.13330.2012 значение.

Для реализации усиления комбинированным способом была разработана новая модификация раскатчика скважин с полым валом и выходным отверстием для подачи раствора (патент РФ № 147223). Новое устройство дает возможность выполнять раскатку и нагнетание грунтоцементного раствора в скважину за один рабочий цикл. Фото нового раскатчика приведено на рис. 6.

Применение новой модификации раскатчика скважин позволит за счет напорного инъектирования твердеющего раствора через выходное отверстие осуществить упрочнение слабых прослоев грунтов с показателем текучести от 0,5 до 1,0 д.е. Таким образом, при использовании нового раскатчика в расчетах усиленного основания целесообразнее применять комбинированную расчетную схему – массив уплотненного грунта, армированный горизонтальными грунтоцементными прослойками и вертикальными сваями.



Рис. 6. Модификация раскатчика скважин с полым валом и выходным отверстием

а – общий вид раскатчика; б – выходное отверстие для подачи раствора

Комбинированный способ усиления грунтов апробирован на строительных площадках и успешно внедрен при возведении многоэтажных жилых домов г. Новосибирска.

Выводы. 1. Исследования позволили усовершенствовать способ усиления оснований путем инъектирования твердеющего раствора в раскатанные скважины. На разработанное оборудование получен патент РФ.

2. Выявлены рекомендуемые граничные условия использования комбинированного способа усиления – на площадках, сложенных глинистыми грунтами с показателем текучести от 0,5 до 1,0 д.е. в пределах Сибирского федерального округа.

3. Определена расчетная схема для комбинированного способа усиления – массив уплотненного грунта, армированный горизонтальными грунтоцементными прослойками и вертикальными сваями.

4. Усовершенствованный комбинированный способ усиления грунтов основания успешно внедрен при строительстве многоэтажных жилых домов в г. Новосибирске.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузнецов А.В. Буровые сваи как технологический фактор влияния на окружающую застройку // Теоретические и практические проблемы геотехники: межвуз. темат. сб. тр. / М-во образования Рос. Федерации, С.-Петербург. гос. архитектурно-строитель. ун-т. СПб., 2005. С. 39–44.
2. Саурин А.Н. Набивные сваи в раскатанных скважинах – перспективное основание для устройства фундаментов в сложных грунтовых и построенных условиях // Тр. междунар. семинара по механике грунтов, фундаментостроению и трансп. сооружениям. М., 2000. С. 236–239.

3. Камбэфор А. Инъекция грунтов. Принципы и методы. М.: Энергия, 1971. 336 с.
4. Багдасаров Ю.А., Саурин А.Н. Армирование оснований фундаментов грунтовыми сваями в раскатанных скважинах // Реконструкции исторических городов и геотехническое строительство. СПб.; М., 2003. Т. 2. С. 29–33.
5. Саурин А.Н. Сваи в раскатанных скважинах // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2005. № 12. С. 42–43.
6. Ланис А.Л. Способы усиления земляного полотна инъектированием // Изв. Транссиба. 2016. № 3. С. 117–124.
7. Ланис А.Л., Разуваев Д.А. Усиление грунтов земляного полотна на подходах к мостам и путепроводам // Вестн. Ростов. гос. ун-та путей сообщения. 2016. № 3. С. 97–104.
8. Ломов П.О. Определение коэффициента пористости грунта, уплотненного методом раскатки скважин // Вестн. граждан. инженеров. 2015. № 6. С. 94–99.
9. Хартман К., Лецкий Э., Шефер В. Планирование экспериментов в исследовании технологических процессов. М.: Мир, 1977. 120 с.

Ланис Алексей Леонидович, канд. техн. наук, доц.

Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск

Попов Анатолий Михайлович, д-р техн. наук, проф.

Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск

Ломов Петр Олегович, канд. техн. наук

Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск

Получено 28.06.17

Lanis Aleksey Leonidovich, PhD, Ass. Professor

Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

Popov Anatolij Mihajlovich, DSc, Professor

Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

Lomov Petr Olegovich, PhD

Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

STRENGTHENING OF THE BASES BY FILLING PILES IN FLARING APERTURES WITH THE INJECTION OF HARDENING CEMENT SLURRY

The construction of buildings and structures in cramped urban conditions on the grounds with low physical and mechanical characteristics is difficult and requires preconstruction soils reinforcement. In addition, there is a need for a combined method of strengthening soils due to the presence of weak soil interlayers. In the article, studies were carried out that solves the problem of determining the boundary soil conditions for use of the combined method of strengthening soils.

The results of the research made it possible to develop a technology and new equipment for a combined method of strengthening soils by injecting the hardening solution into the flaring wells. Ground conditions were found, using this method is recommended.

К e y w o r d s: flaring apertures, injecting the hardening solution, soil reinforcement, soil compaction, combined with the strengthening of the soil.

REFERENCES

1. Кузнецов А.В. Buroye svai kak tekhnologicheskiy faktor vliyaniya na okruzhayushchuyu zastroyku [Drilled piles as a technological factor of the influence on surrounding buildings]. Teoreticheskie i prakticheskie problemy geotekhniki [Theoretical and practical problems of geotechnics]. Saint-Petersburg, 2005. Pp. 39–44. (in Russian)

2. Saurin A.N. Nabivnye svai v raskatannykh skvazhinakh – perspektivnoe osnovanie dlya ustroystva fundamentov v slozhnykh gruntovykh i postroechnykh usloviyakh [Built-in-place piles in rolled out wells is a promising basis for the installation of foundations in difficult soil and built conditions]. Tr. mezhdunar. seminara po mekhanike gruntov, fundamentostroeniyu i transp. sooruzheniyam [Third international seminar on soil mechanics, foundation engineering and transport structures]. Moscow, 2000. Pp. 236–239. (in Russian)
3. Kambe for A. In”ektsiya gruntov. Printsipy i metody [Injection of soils. Principles and methods]. Moscow, 1971. 336 p. (in Russian)
4. Bagdasarov Yu.A., Saurin A.N. Armirovanie osnovaniy fundamentov gruntovymi svayami v raskatannykh skvazhinakh [Reinforcement of Foundation soil piles in rolled wells]. Rekonstruktsii istoricheskikh gorodov i geotekhnicheskoe stroitel’stvo [Reconstruction of historical cities and geotechnical engineering]. Saint-Petersburg, 2003. No. 2. Pp. 29–33. (in Russian)
5. Saurin A.N. Svai v raskatannykh skvazhinakh [Piles in rolled wells]. Stroitel’nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka [Building materials, equipment, technologies of XXI century]. 2005. No. 12. Pp. 42–43. (in Russian)
6. Lanis A.L. Sposoby usileniya zemlyanogo polotna in”ektirovaniem [Ways of strengthening of subgrade by injection]. Izvestiya Transsiba [Proceedings Of The TRANS-Siberian Railway]. 2016. No. 3. Pp. 117–124. (in Russian)
7. Lanis A.L., Razuvayev D.A. Usilenie gruntov zemlyanogo polotna na podkhodakh k mostam i puteprovodam [Reinforcement of soil subgrade on the approaches to bridges and overpasses]. Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya [Bulletin of the Rostov state transport University]. 2016. No. 3. Pp. 97–104. (in Russian)
8. Lomov P.O. Opredelenie koefitsienta poristosti grunta, uplotneniia metodom raskatki skvazhin [Determining the pore-solids ratio of strengthened subgrade by soil flaring]. Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Bulletin of civil engineers]. 2015. No. 6. Pp. 94–99. (in Russian)
9. Hartman K., Letskiy E., Shefer V. Planirovanie eksperimentov v issledovaniu tekhnologicheskikh protsessov [Design of experiments in the study of technological processes]. Moscow, 1977. 120 p. (in Russian)

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ НАСЕЛЕННЫХ МЕСТ, ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА

УДК 697:725.4:69(083.75)

В.И. КОСТИН

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ СИСТЕМ КЛИМАТИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

С конца прошлого столетия в нашей стране ведется, в основном, строительство жилых и общественно-административных зданий. С учетом данного фактора разрабатывалась и нормативная база строительства, в том числе связанная с созданием систем климатизации и теплоснабжения. Подготовленные в советское время нормы проектирования этих систем для промышленных зданий устарели. В то же время исследования по совершенствованию расчетов и схем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха промышленных производств продолжались. В статье вносятся предложения по совершенствованию нормативных документов по проектированию систем климатизации, основанные на анализе научных исследований последнего периода.

Ключевые слова: промышленные здания, нормативные документы, системы климатизации, совершенствование.

Постановка задачи. Переход российской экономики от экспортно-сырьевого типа к инновационному, создающему высокотехнологичную, конкурентно-способную продукцию, ведет к увеличению объема промышленного строительства. Соответственно будет изменяться и структура проектных работ. Между тем последние четверть века в стране строились, в основном, жилые и общественно-административные здания. В результате выросло поколение проектировщиков, которое мало знакомо со спецификой проектирования промышленных зданий.

В то же время в России проводилась весьма значительная работа по созданию физико-математических моделей, точнее описывающих тепломассообменные и аэродинамические процессы, происходящие в помещениях. Это позволяет создавать более эффективные и экономичные системы климатизации. Результаты исследований опубликованы в таких капитальных изданиях, как [1–3] и др.

В работе [1] обобщены результаты многолетних исследований в области вентиляции и отопления промышленных зданий как самих авторов, так и их предшественников. Описываются основанные на решении уравнений Навье–Стокса математические модели, позволяющие рассчитывать поля температур воздуха и концентраций вредных веществ как внутри промышленного здания, так и на заводской площадке. В работе [2] изложение теоре-

тических основ аэродинамики аспирации сочетается с практическими рекомендациями по расчету и конструированию аспирационных систем.

Математическая модель Ю.А. Табунщикова [3] позволяет решить широкий круг задач, связанных с созданием систем климатизации зданий любого назначения. Автором данной статьи эта модель применялась к расчету промышленных зданий с повышенными требованиями к точности поддержания заданной температуры воздуха [4–5].

Наряду с обобщающими разрабатываются модели для отдельных типов современных производств, например [6]. Капитальный теоретический труд создан В.Н. Посохиным [7]. Не утратила теоретического и практического значения книга М.И. Громиллина [8]. Много полезных рекомендаций по проектированию вентиляции промышленных производств содержится в переработанном издании учебника П.Н. Каменева [9]. Наконец, нельзя не вспомнить и публикации в журналах: АВОК; Инженерные системы. АВОК Северо-Запад; Известия вузов. Строительство; Инженерно-строительный журнал и др.

Таким образом, на сегодня имеется большой объем новых расчетных инженерных методов, работа над совершенствованием которых продолжается, в том числе и авторами книг [1–3].

Сложнее дело обстоит с нормативными документами и рекомендациями по проектированию. К сожалению, лишь одно из солидных исследований, проведенных за последний период и которое может быть применено в производственных зданиях, нашло отражение в «Сводах правил»: работы В.Г. Гагарина (Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей. СП 1325800. 2015).

В то же время выпущенные в советское время «Указания по проектированию» по отдельным типам производств безнадежно устарели, а новые – не созданы. Не в полной мере, на наш взгляд, отражены вопросы проектирования современных производств в «Сводах правил»: «Тепловая защита зданий» и «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха».

Цель работы: разработка на основе анализа научных исследований последних лет рекомендаций по совершенствованию нормативных документов.

Работу предлагается вести по двум направлениям.

I. Разработка «Сводов правил» для производств с особой спецификой:

1) предприятия с повышенными требованиями к качеству температурно-влажностного режима и чистоте воздуха;

2) взрыво-, пожароопасные производства;

3) предприятия с повышенным уровнем пылевыделений и т.д.

II. Корректировка существующих «Сводов правил».

Рассмотрим «СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция. СНиП 23-02–2003».

1. Требования к тепловой защите производственных зданий устанавливаются в зависимости только от климатических условий без учета специфики технологических процессов (сменности работы, интенсивности внутренних теплопоступлений и степени равномерности их поступления, требований к точности поддержания внутренней температуры t_b и т.д.). Однако, учитывая быстроту изменения современных технологий и возможность перепрофилирования назначения зданий, можно ограничиться выделением в особую группу помещений с повышенными требованиями к точности поддержаний

заданной температуры t_b . Как доказал Ю.А. Табунщикова [3], мощность системы охлаждения Q_o и суммарные энергозатраты на систему охлаждения Q_c зависят от теплопоглощающих свойств первого внутреннего слоя ограждающей конструкции, т.е. от материала слоя, ввиду нестационарности тепловых потоков, поступающих в здание в теплый период года. В работе [5] показано, что при одних и тех же внутренних теплопоступлениях Q_b и одной и той же степени остекления величины Q_o и Q_c зависят от вариантов объемно-планировочных решений, при которых изменяются площади теплопоглощающих поверхностей ограждающих конструкций. Очевидно, что энергетическая эффективность архитектурно-строительных решений в данном случае должна определяться суммарными энергозатратами на отопление и охлаждение здания.

2. В отдельную группу выделены здания с избытками явной теплоты Q_y более 23 Вт/м³. Здесь, на наш взгляд, следует уточнить два момента:

а) к какому периоду года относится цифра 23;

б) на какой объем помещений следует делить теплоизбытки: на внутренний строительный V_c или воздушный V_b .

Дело в том, что в некоторых случаях, например, в залах тепловых генераторов ТЭЦ, объем оборудования V_o соизмерим с объемом V_c . В результате при делении Q_y на V_c можно получить цифру меньше 23, а при делении на $V_c - V_o$ – больше. В первом случае требуемое сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций R_o^{tp} определяется по табл. 3 (СНиП 23-02-2003), а во втором – по специальному расчету, методики которого в данном СНиП нет.

3. Значительная часть промышленных зданий имеет повышенный уровень остекленности, по сравнению с жилыми и общественно-административными зданиями. Соответственно увеличиваются и площади неплотностей ограждающих конструкций. Между тем нормируемая воздухонепроницаемость G_n для промышленных зданий выше (табл. 9). Предлагается уменьшить эту величину для стыков между панелями наружных стен до уровня G_n жилых зданий, для окон и фонарей – до величины, предусмотренной для производственных зданий с кондиционированием воздуха.

4. Как известно, стоимость 1 м² стен дороже 1 м² остекления. Предлагается увеличить требуемое сопротивление теплоотдаче окон R_o^{tp} производственных зданий до уровня R_o^{tp} общественных, что позволит уменьшить стоимость строительства и реконструкции.

В таблице приводится анализ результатов применения данного предложения для здания со степенью остекления 0,25. В этом случае две трети тепловых потерь вертикальных конструкций приходится на окна.

В первых пяти колонках таблицы приводятся зависимости R_o^{tp} от градусо-суток отопительного периода (ГСОП), заимствованные из табл. 3 СНиП «Тепловая защита зданий». В предпоследней колонке даются предлагаемые значения R_{o1}^{tp} для стен, в последней – процент уменьшения R_o^{tp} . При внедрении этого предложения обязательна проверка на соответствие условиям формулы (5.4) СНиП «Тепловая защита зданий».

ГСОП	$R_o^{\text{TP}}, (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$				R_{oi}^{TP}	$R_o^{\text{TP}} - R_i^{\text{TP}}, \%$		
	Общественные здания		Промышленные здания					
	стена	окно	стена	окно				
2000	1,8	0,3	1,4	0,25	1,07	23,6		
4000	2,4	0,4	1,8	0,3	1,2	33,3		
6000	3,0	0,5	2,2	0,35	1,351	38,6		
8000	3,6	0,6	2,6	0,4	1,512	41,9		
10000	4,2	0,7	3,0	0,45	1,674	44,2		
12000	4,8	0,8	3,4	0,5	1,874	45,8		

Рассмотрим СП 60.13330.2012. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003.

1. В новой редакции термин «переходный период» заменен на «переходные условия».

В п. 5.13 они определяются следующим образом: «Параметры наружного воздуха для переходных условий года следует принимать: температуру 10°C и удельную энтальпию 26,5 кДж/кг или параметры наружного воздуха, при которых изменяются режимы работы оборудования, потребляющего теплоту и холод».

Как известно, в предыдущих редакциях этого СНиП параметры наружного воздуха для переходного периода определялись однозначно. Данное нововведение имеет особо важное значение для производственных зданий, где на изменение режима работы климатизационного оборудования влияют не только погодные условия, но и специфика технологического процесса.

Как показано в работе [10], для одного и того же промышленного здания может быть несколько температур наружного воздуха t_n , определяющих переходные условия, а в термоконстантных помещениях переход от режима нагрева к режиму охлаждения (и наоборот) возможен в течение рабочего времени. Очевидно, что во многих случаях определение переходных условий невозможно без пакета специальных программ.

Хорошой основой для его создания, на наш взгляд, может стать концепция помесячных расчетов [11].

2. Расчет расхода и температуры приточного воздуха в центральных системах вентиляции и кондиционирования воздуха (приложение И).

Рассмотрим приведенные в данном приложении расчетные зависимости.

Формулы (И.1) и (И.4) предназначены для расчета воздухообмена, необходимого для ассимиляции избытков соответственно явной и полной теплоты. Однако они справедливы для условий стационарного теплового режима помещений, которого, строго говоря, не бывает никогда, ввиду суточных изменений внутренних и наружных теплопоступлений и аккумуляции теплоты ограждающими конструкциями и оборудованием.

Однако в холодный период при наличии постоянно действующего отопления с достаточной для практики точностью тепловой режим помещений можно считать стационарным. Для теплого периода применение формул (И.1), (И.4), на наш взгляд, вполне допустимо для производств с мощными стационарными источниками теплоты, существенно большими по сравнению с теплопоступлениями от солнечной радиации (тепловые электростан-

ции, металлургические заводы и т.д.). В остальных случаях формулы (И.1), (И.4) дают завышенные результаты, иногда до 30 % и более.

Между тем еще в 60-е годы прошлого столетия В.Н. Богословским была создана методика расчета теплового режима и воздухообмена зданий при нестационарных теплопоступлениях [12]. В упрощенном виде она вошла в «Справочник проектировщика» [13]. Новая, более точная модель расчета нестационарного теплового режима разработана Ю.А. Табунщиковым [3].

Наконец, на необходимость учета тепловой аккумуляции помещений при расчете воздухообмена указывал Е.О. Шилькорт [14], рассматривавший такой подход в качестве важного пути экономии затрат на системы климатизации. Справедливость этого предложения подтверждают наши натурные наблюдения и расчеты, проведенные сначала по методу В.Н. Богословского, а позже Ю.А. Табунщикова [4, 15 и др.]. Для внедрения таких расчетов в практику проектирования нужны пакеты соответствующих программ, но пока приложение И будет оставаться обязательным, их внедрение останется уделом диссертантов и немногих энтузиастов-проектировщиков. Поэтому предлагается:

- a) перевести приложение И в разряд рекомендуемых;
- б) оговорить применение формул (И.1) и (И.4) областью стационарного теплового режима.

Перейдем теперь к остальным формулам приложения И. Формула (И.2) предназначена для определения воздухообмена по массе выделяющихся вредных или взрывоопасных веществ и справедлива при равномерном и непрерывном поступлении их в помещения, т.е. для стационарных условий. Расчетные формулы для случая периодического поступления вредностей, когда воздух помещения играет роль их аккумулятора, имеются в книгах [9, 16]. Однако предлагаемые там решения основаны на предположении о равномерном распределении поступающих веществ по объему помещения, что возможно лишь при больших кратностях воздухообмена. Конечно, при нынешнем уровне программирования возможно и более точное решение. При загромождении помещения оборудованием и коммуникациями создаются локальные зоны повышенных концентраций токсичных и пожаро-, взрывоопасных веществ [17]. Поэтому вносить изменения в формулу (И.2), дающую при их периодическом поступлении завышенные объемы вентиляции, но в то же время уменьшающую вероятность возникновения аварийной ситуации, представляется нецелесообразным.

По формуле (И.3) должен рассчитываться воздухообмен по избыткам влаги. На наш взгляд, она не требует корректировки, так как внутренние влагопоступления в большинстве случаев достаточно стабильны. Но к разъяснению этой формулы (с. 69) необходимо дополнение.

Приведем текст нынешней редакции:

«Для помещений с избытком влаги следует проверять достаточность воздухообмена для предупреждения образования конденсата на внутренней поверхности ограждающих конструкций при расчетных параметрах Б наружного воздуха в холодный период».

Между тем в районах с резко континентальным климатом (Урал, Сибирь) влагосодержание наружного воздуха d_n при температурах по параметрам Б t_n^B для холодного периода близко к 0 (в пределах 0,2 мг/м³).

При температурах наружного воздуха $t_h = 0$ величина d_h увеличивается на 3 мг/м³ и более, что ведет к повышению в помещении как абсолютной d_v , так и относительной влажности ϕ_v . В результате ϕ_v может превышать допустимую величину (75 %), а на внутренних поверхностях здания произойдет конденсация влаги [10].

Поэтому предлагается приложение И дополнить указанием на необходимость дополнительной проверки на отсутствие конденсации влаги и соответствие ϕ_v норме при $t_h = 0$ °С (или близкой к ней величине отрицательных температур) для регионов с температурами t_h^B менее –30 °С.

3. *Задача калориферов от замораживания.* Рассмотрим п. 7.8.2(б): «при отсутствии циркуляционных насосов в контуре воздухонагревателей скорость движения воды в трубках обосновывать расчетом или принимать не менее 0,12 м/с при расчетной температуре наружного воздуха (параметры Б) и при 0 °С...».

Однако система защиты калориферов от замораживания срабатывает, выключая подачу воздуха в помещение, при снижении температуры обратной воды t_o до температуры настройки датчика защиты $t_{n.d.}$.

Анализ различных калориферных схем, в том числе и с подмешиванием обратной воды, для городов Ростов, Москва, Омск, Братск, Якутск показал возможность снижения t_o ниже температуры $t_{n.d.}$ при скоростях воды 0,12 м/с и выше при $t_h = 0$ °С [18]. Вероятность создания аварийной ситуации возрастает с уменьшением температуры t_h^B и с увеличением отношения внутренних теплопоступлений к расчетным тепловым потерям помещения. Поэтому предлагается сделать обязательным проверочный расчет температуры t_o в регионах с t_h^B менее –30 °С для всех схем обвязки калориферов из условия $t_o > t_{n.d.}$.

4. *Энергоэффективность систем отопления, вентиляции и кондиционирования.* Рассмотрим первый пункт этого раздела (11.1): «Требования энергетической эффективности зданий должны соблюдаться при проектировании, экспертизе, строительстве, приемке и эксплуатации новых, реконструируемых, капитально ремонтируемых отапливаемых жилых зданий и зданий общественного назначения». Очевидно, что заключительную часть последней фазы нужно отредактировать, добавив сюда промышленные здания. Упомянутые в последующих пунктах этого раздела пути повышения энергоэффективности систем климатизации во многих случаях сопровождаются сложными расчетами, для выполнения которых опять-таки нужны вычислительные программы.

5. *Выбросы воздуха в атмосферу.* П.10.1 предусматривает необходимость рассеивания «в атмосфере остаточных количеств вредных веществ. Методика расчета концентраций вредных веществ в атмосфере приведена в [6]». Речь здесь идет о методике, разработанной еще Госкомгидрометом СССР. Но она не позволяет рассчитывать сложные случаи, когда имеется группа выбросов, которые бывают, например, на больших промплощадках. В таких случаях более точный результат дадут современные модели. Описание одной из таких моделей приводится в работе [1].

На наш взгляд, рекомендации СНиП 41-01.2003 по применению тех или иных формул, методик расчета должны формулироваться таким образом,

чтобы эти рекомендации не служили препятствием для использования математических моделей, более точно описывающих аэродинамические и тепло-массообменные процессы, происходящие как внутри здания, так и вокруг него.

Рассмотрим СП 1325800.2015 «Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей».

Данные «Строительные правила» предлагается дополнить примерами расчета узлов конструкций, характерных для промышленных зданий, например, фонарей.

Таковы основные предложения по корректировке «Сводов правил», определяющих проектирование систем климатизации.

Выводы. Для создания эффективных и экономичных систем климатизации промышленных зданий необходимо:

1. Произвести корректировку СП «Отопление, вентиляция и кондиционирование», «Тепловая защита зданий», «Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей».
2. Разработать «Свод правил» по проектированию систем климатизации для наиболее характерных типов производств.
3. Разработать пакеты вычислительных программ, издать каталог их аннотаций, периодически обновляемый по мере создания новых программ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Григорьев А.М., Дацюк Т.А., Крупкин Г.Я., Стронгин А.С., Шилькрот Е.О. Отопление и вентиляция производственных помещений. СПб.: АВОК Северо-Запад, 2007. 399 с.
2. Логачев И.Н., Логачев К.И. Аэродинамические основы аспирации. СПб.: Химия, 2005. 659 с.
3. Табунщикова Ю.А., Бродач М.М. Математическое моделирование и оптимизация тепловой защиты зданий. М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. 194 с.
4. Костин В.И., Русланов Е.Ю. Расчет расходов холода на системы кондиционирования воздуха промышленных зданий // АВОК. 2012. № 115. С. 18–21.
5. Костин В.И. Влияние внутренних теплопоступлений на выбор ограждающих конструкций и объемно-планировочных решений // АВОК. 2016. № 1. С. 48–52.
6. Позин Г.М., Ульяшева В.М., Кубрат И.Д. К вопросу применения моделей турбулентности при численном моделировании вентиляционных процессов // Изв. вузов. Строительство. 2013. № 10. С. 48–56.
7. Постоихин В.Н. Аэродинамика вентиляции. М.: АВОК-ПРЕСС, 2008. 208 с.
8. Григорьев М.И. Распределение воздуха в помещениях. СПб.: НПП «ЭКОЮРУС-ВЕНТО», 1994. 316 с.
9. Каменев П.Н., Тертичник Е.И. Вентиляция. М.: Изд-во АСВ, 2006. 615 с.
10. Костин В.И. Выбор параметров наружного воздуха для переходных условий при расчете систем климатизации // Изв. вузов. Строительство. 2014. № 2. С. 57–60.
11. Табунщикова Ю.А., Миллер Ю.В. Оценка годового расхода энергии на отопление и охлаждение зданий // АВОК. 2013. № 3. С. 56–63.
12. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. М.: Высш. шк., 1970. 375 с.
13. Богословский В.Н., Пирумов А.И., Постоихин В.Н. и др. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические работы. Кн. 1. М.: Стройиздат, 1992. 319 с.

14. Шилькорт Е.О. Эффективное использование энергии – где и как? // АВОК. 2006. № 7. С. 4–6.
15. Костин В.И., Федоров Б.А. Проблемы расчета воздухообмена в помещениях с избытками теплоты в теплый период // Изв. вузов. Строительство. 2011. № 6. С. 54–58.
16. Батурина В.В. Основы промышленной вентиляции. М.: Профиздат, 1965. 608 с.
17. Селиверстов Н.А. Вентиляция заводов химической промышленности. М.; Л.: Госстройиздат, 1934. 134 с.
18. Костин В.И., Русских Е.Ю. Работа калориферных установок в режиме автоматического регулирования // Изв. вузов. Строительство. 2010. № 3. С. 80–84.

Костин Владимир Иванович, д-р техн. наук, проф.;
E-mail: izvuz_str@sibstrin.ru
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено 07.06.17

Kostin Vladimir Ivanovich, DSc, Professor; E-mail: izvuz_str@sibstrin.ru
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

IMPROVEMENT OF THE REGULATORY BASE ON DESIGN OF ENVIRONMENTAL CONTROL SYSTEMS OF INDUSTRIAL BUILDINGS

Since the end of last century in our country it is conducted, generally construction inhabited and public office buildings. Taking into account this factor also the regulatory base of construction including connected with creation of environmental control systems and heat supply was created. The standards of design of these systems developed in Soviet period for industrial buildings have become outdated. At the same time researches on improvement of calculations and schemes of heating, ventilation and air conditioning of industrial productions continued. In article the suggestions for improvement of normative documents on design of environmental control systems based on the analysis of scientific research of the last period are made.

К e y w o r d s: industrial buildings, normative documents, environmental control systems, improvement.

REFERENCES

1. Grimitlin A.M., Datsyuk T.A., Krupkin G.Ya., Strongin A.S., Shil'krot E.O. Otoplenie i ventilyatsiya proizvodstvennykh pomeshcheniy [Heating and ventilation of production rooms]. Saint-Petersburg, 2007. 399 p. (in Russian)
2. Logachev I.N., Logachev K.I. Aerodinamicheskie osnovy aspiratsii [Aerodynamic bases of aspiration]. Saint-Petersburg, 2005. 659 p. (in Russian)
3. Tabunshchikov Yu.A., Borodach M.M. Matematicheskoe modelirovanie i optimizatsiya teplovoy zashchity zdaniy [Mathematical modeling and optimization of thermal protection of buildings]. Moscow, 2002. 194 p. (in Russian)
4. Kostin V.I., Russkikh E.Yu. Raschet raskhodov kholoda na sistemy konditsionirovaniya vozdukha promyshlennyykh zdaniy [Calculation of expenses of cold on air conditioning systems of industrial buildings]. AVOK: Ventylyatsiya, otoplenie, konditsionirovaniye vozdukha, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika [HVAC: Ventilation, heating, air conditioning, heat supplu and buildingthermal physics]. 2012. No. 115. Pp. 18–21. (in Russian)

5. K o s t i n V.I. Vliyanie vnutrennikh teplopostupleniy na vybor o grazhdushchikh konstruktsiy i ob"emno-planirovochnykh resheniy [Influence of internal heatrevenues to the choice of the protecting designs and space-planning decisions]. AVOK: Ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozdukha, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika [HVAC: Ventilation, heating, air conditioning, heat supplu and buildingthermal physics]. 2016. No. 1. Pp. 48–52. (in Russian)
6. P o z i n G.M., U l y a s h e v a V.M., K i b o r t I.D. K voprosu primeneniya modeley turbulentnosti pri chislennom modelirovaniu ventilyatsionnykh protsessov [To a question of turbulence models applying at a numerical modeling ventilation processes]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2013. No. 10. Pp. 48–56. (in Russian)
7. P o s o k h i n V.N. Aerodinamika ventilyatsii [Ventilation aerodynamics]. Moscow, 2008. 208 p. (in Russian)
8. G r i m i t l i n M.I. Raspredelenie vozdukha v pomeshcheniyakh [Distribution of air in rooms]. Saint-Petersburg, 1994. 316 p. (in Russian)
9. K a m e n e v P.N., T e r t i c h n i k E.I. Ventilyatsiya [Ventilation]. Moscow, 2006. 615 p. (in Russian)
10. K o s t i n V.I. Vybor parametrov naruzhnogo vozdukha dlya perekhodnykh usloviy pri raschete sistem klimatizatsii [Selection of parameters of external air for transitional conditions at calculation of climatic systems]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2014. No. 2. Pp. 57–60. (in Russian)
11. T a b u n s h c h i k o v Yu.A., M i l l e r Yu.V. Otsenka godovogo raskhoda energii na otoplenie i okhlazhdenie zdaniy [Assessment of annual power consumption on heating and cooling of buildings]. AVOK: Ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozdukha, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika [HVAC: Ventilation, heating, air conditioning, heat supplu and buildingthermal physics]. 2013. No. 3. Pp. 56–63. (in Russian)
12. B o g o s l o v s k i y V.N. Stroitel'naya teplofizika [Construction thermophysics]. Moscow, 1970. 375 p. (in Russian)
13. B o g o s l o v s k i y V.N., P i r u m o v A.I., P o s o k h i n V.N. et. all. Spravochnik proektirovshchika. Vnutrennie sanitarno-tehnicheskie raboty. Kniga 1. [Reference book by the designer. Internal sanitary works. Book 1]. Moscow, 1992. 319 p. (in Russian)
14. S h i l ' k r o t E.O. Effektivnoe ispol'zovanie energii – gde i kak? [Effective use of energy – where and how?]. AVOK: Ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozdukha, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika [HVAC: Ventilation, heating, air conditioning, heat supplu and buildingthermal physics]. 2006. No. 7. Pp. 4–6. (in Russian)
15. K o s t i n V.I., F e d o r o v B.A. Problemy rascheta vozdukhobmena v pomeshcheniyakh s izbytkami teploty v teplyy period [Problems of calculation of air exchange in premises with surpluses of warmth during the warm period]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2011. No. 6. Pp. 54–58. (in Russian)
16. B a t u r i n V.V. Osnovy promyshlennoy ventilyatsii [Bases of industrial ventilation]. Moscow, 1965. 608 p. (in Russian)
17. S e l i v e r s t o v N.A. Ventilyatsiya zavodov khimicheskoy promyshlennosti [Ventilation of the plants of chemical industry]. Moscow; Leningrad, 1934. 134 p. (in Russian)
18. K o s t i n V.I., R u s s k i k h E.Yu. Rabota kalorifernykh ustavok v rezhime avtomaticheskogo regulirovaniya [Work of calorifere plants in regime of an automatic control]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2010. No. 3. Pp. 80–84. (in Russian)

УДК 628.33

А.Н. КИМ, Е.В. ДАВЫДОВА

МОДЕРНИЗАЦИЯ ФИЛЬТРУЮЩЕГО МОДУЛЯ ФМС НА ДОЖДЕВОЙ КАНАЛИЗАЦИОННОЙ СЕТИ

Рассмотрены технические аспекты по водоотведению и механической очистке поверхностного стока с урбанизированных территорий. Раскрыты основные особенности поверхностного стока, дан анализ методов его механической очистки с применением торфяных фильтрующих материалов. Приведены элементы локальных очистных сооружений и устройства для очистки поверхностного стока на дождевой канализационной сети города. Показаны перспективные конструктивные решения сооружений и устройств для очистки поверхностного стока.

Ключевые слова: поверхностный сток, взвешенные вещества, нефтепродукты, очистные устройства, локальные очистные сооружения.

Важнейшими проблемами совершенствования и повышения эффективности технологических процессов очистки поверхностного стока являются обеспечение качества процесса и снижение затрат. Решение этих проблем связано с широким внедрением в производство современных технологических решений, конструкций и комплексов технологического оборудования, средств и систем контроля и управления технологическими процессами [1]. Одной из ключевых задач в реализации концепции устойчивого развития общества является замена традиционных технологий производства на безотходные, ресурсо- и энергосберегающие. Особенно важно реализовать такой подход в системе защиты окружающей среды урбанизированных территорий [1, 2].

Подземное хозяйство современных городов – это сложная инженерная система, состоящая из сетей, коллекторов и сооружений на них [3]. Традиционно в городах обычно используется комбинированная система водоотведения, в которую поступают как хозяйственно-бытовые, промышленные, так и поверхностные: дождевые, талые и дренажные воды [1, 4]. Поверхностные сточные воды с территории крупных промышленных предприятий, а иногда и с территорий населенных пунктов, при возможности целесообразно использовать как дополнительный источник для технического водоснабжения предприятий, подвергая их предварительной очистке до требуемой степени [5].

Водным законодательством РФ запрещается сбрасывать в водные объекты неочищенные до установленных нормативов дождевые, талые и поливомоечные воды, организованно отводимые с селитебных территорий и площадок предприятий. В соответствии с действующими требованиями СП 32.13330.2012 поверхностные сточные воды с городских территорий перед спуском их в водоемы должны подвергаться очистке, причем талый и поливомоечный сток полностью. Для дождевых вод степень очистки оп-

ределяется условиями приема в системы водоотведения города и выпуска в водные объекты.

Традиционное развитие городской застройки с водонепроницаемыми поверхностями, такими как кровли зданий, дороги и автостоянки, а также системы ливневого коллектора, изменяет гидрологию водораздела и оказывает негативное влияние на качество воды. Это преобразование увеличивает количество поверхностного стока с площади водосбора, снижает инфильтрацию в грунт. В течение десятков лет не решается проблема, связанная с правовым регулированием сбросов загрязняющих веществ на водосборные площади (рельеф местности) [1, 6]. Обращаясь к последней редакции Водного кодекса РФ, можно отметить, что данный законодательный акт регламентирует вопросы сброса сточных вод в водные объекты, в том числе такой сброс является одним из видов водопользования, устанавливает запреты на сброс сточных вод при определенных условиях. Однако определение таких понятий, как «водосборные площади» или «рельеф местности», отсутствует и в Законе об охране окружающей среды, и в Порядке определения платы, установленном постановлениями Правительства РФ от 28.08.1992 № 632 и 12.06.2003 № 344, устанавливающим нормативы платы.

Качество поверхностного стока обусловлено множеством одновременно действующих факторов, которые можно разделить на две большие группы: к первой – относятся все источники загрязнения и факторы, влияющие на санитарное состояние водосбора к моменту образования стока, ко второй – факторы, от которых зависят скорость и степень смыва накопленных загрязнений [7]. На рис. 1 представлена принципиальная схема формирования дорожных и других загрязнений городских территорий.

Нерастворимые вещества загрязнения присутствуют в сточных водах в виде грубой суспензии с размером частиц более 100 мкм и в виде тонкой суспензии или эмульсии с размером частиц 100–0,1 мкм. Коллоидные



вещества в сточных водах имеют размеры частиц 0,1–0,001 мкм. Нефтепродукты относятся к наиболее опасным органическим загрязнениям водоемов. Обладая малой растворимостью в воде, они разлагаются естественным образом крайне медленно. Имея низкую плотность, нефтепродукты (даже при малой концентрации) образуют на водной поверхности пленку, препятствующую растворению в воде атмосферного кислорода. Нефтепродукты оказывают непосредственное токсическое воздействие на водные организмы: закупоривают клеточные мембранны, через которые осуществляются все процессы метаболизма. Основные товарные виды жидких нефтепродуктов – углеводородные фракции, получаемые из нефти в процессе перегонки и вторичной переработки: бензины (С4–С16, т. кип. 40–200 °C), керосины (С12–С16, 200–300 °C), дизельные топлива (С16–С20, 300–400 °C), котельные топлива, масла разнообразного назначения, мазуты [1, 8]. Основные компоненты этих нефтепродуктов – углеводороды. Наряду с углеводородами в нефтепродуктах, как и в нефтях, содержатся соединения с атомами S, N и O.

Концентрация основных примесей в дождевом стоке тем выше, чем меньше слой осадков и продолжительнее период сухой погоды, и изменяется в процессе стекания дождевых вод. Наибольшие концентрации имеют место в начале стока до достижения максимальных расходов, после чего наблюдается их интенсивное снижение [4, 9]. Концентрация примесей в талых водах зависит от количества осадков, выпадающих в холодное время года, доли грунтовых поверхностей в балансе площади стока и притока талых вод с прилегающими незастроенными территориями.

Для решения вопроса очистки поверхностного стока очень важно уже сегодня выбрать наиболее эффективную и экономически целесообразную технологию очистки, основываясь на данных по объему поверхностного стока и его загрязненности [8, 10]. Качественные показатели степени очистки поверхностных сточных вод при сбросе их в водные объекты представлены в табл. 1.

Таблица 1. Концентрации загрязняющих веществ в сточных водах, которые допускаются к сбросу

Параметры	Централизованные дождевые системы водоотведения	Водные объекты рыбохозяйственного назначения
Взвешенные вещества, мг/л	300	10
БПК ₅ , мг/л	7,0	3,0
Азот аммонийный, мг/л	1,2	0,39
Нефтепродукты, мг/л	0,5	0,05

В сложившихся макроэкономических условиях целесообразно использовать в качестве сорбентов для очистки поверхностного стока природные материалы и отходы производств промышленных предприятий, так как такие сорбенты относительно дешевы и многие обладают достаточно высокими сорбционными свойствами по отношению к углеводородам [11]. Для сорбционной очистки воды, в частности, для доочистки сточных вод от нефтепродуктов, может быть применено множество материалов природного и искусственного происхождения. Чаще других для этой цели исполь-

зуют гранулированный активированный уголь (ГАУ). Исходным сырьем для его получения служат практически любые углеродсодержащие материалы: уголь, торф, древесина и др. Для снижения эксплуатационных затрат его подвергают регенерации, приводящей к вторичному загрязнению воды, что в сложившихся макроэкологических условиях нельзя назвать целесообразным [2, 5]. Кроме того, эффективность их использования для очистки нефтесодержащих сточных вод снижается за счет образования на внешней поверхности частиц масляной пленки, изолирующей пористую структуру ГАУ и препятствующей процессу сорбции.

В настоящее время актуальной стала проблема поиска сорбентов, лишенных этого недостатка. Проблему сорбционной очистки сточных вод от нефтепродуктов можно решить практически с минимальными экономическими затратами, используя вместо активированного угля торф [9]. К достоинствам торфяных сорбентов относится и возможность утилизации отработанного материала путем сжигания, что позволяет ликвидировать вторичное загрязнение воды, неизбежное при регенерации сорбционного материала, и решить проблему поиска доступного и недорогого вида топлива.

Большой поглотительной способностью отличаются торфы с малой степенью разложения. Поэтому в качестве сырья для получения фильтрующего материала используются верховые сфагновые слаборазложившиеся торфы с волокнистой структурой, как обладающие большой грязеемкостью по взвешенным веществам и нефтепродуктам [1, 8].

В настоящее время для очистки поверхностного стока на территории города наиболее действенным и реализуемым является следующий подход к решению поставленной задачи:

- очистка ливневого стока в дождеприемном колодце на дождевой канализационной сети;
- реконструкция (модернизация) очистных сооружений на предприятиях, расположенных в городской черте, очищенные стоки от которых отводятся на городские очистные сооружения или сбрасываются в водотоки, протекающие на территории города;
- строительство локальных очистных сооружений поверхностного стока, обеспечивающих очистку до требований рыбохозяйственных водоемов, для сброса в природные водотоки в черте города.

Локальная очистка поверхностного стока непосредственно в дождеприемном колодце на дождевой канализационной сети производится с помощью фильтрующих модулей. Фильтрующий модуль ФМС предназначен для очистки поверхностных сточных вод от взвешенных веществ и нефтепродуктов с территории населенных пунктов, промышленных и строительных площадок, гаражных, автостоянок и других мест, а также для монтажа на существующей ливневой канализации без ее реконструкции и производства земляных работ [2, 12].

ФМС вод представляет собой сборную сетчатую конструкцию, элементы которой выполнены из полосовой и угловой стали, защищенной анткоррозионным покрытием. ФМС, состоящий из отдельных элементов, оперативно монтируется в железобетонный дождеприемный колодец на сети (с отстойной частью глубиной 0,7 м) через отверстие люка в плите перекрытия колодца.

Внутренняя полость фильтрующего модуля заполнена сорбционной загрузкой из ТОРФОСОРБЕНТА и/или сорбентом НОВОСОРБ, которые, в свою очередь, для удобства работы при монтаже и замене загрузки помещены в упаковочные полиэтиленовые сетчатые рукава (мешки). Для глубокой доочистки стоков (до требований рыбохозяйственных водоемов) в качестве сорбционной загрузки ФМС используются активированные угли БАУ-А, АГ-3, МАУ и другие сорбенты, разрешенные к применению.

При нормальной работе очистного устройства фильтрация очищаемой жидкости происходит через боковую (вертикальную) и нижнюю (донную) поверхности фильтрующего модуля. Конструкция фильтрующего модуля при сверхнормативном расходе ливневых стоков предусматривает возможность перелива жидкости через его верхнюю часть (рис. 2) [13].

Фильтрующий модуль обеспечивает очистку сточных вод по взвешенным веществам (ВВ) до 10 мг/л, нефтепродуктам (НП) до 0,3 мг/л, а при доочистке стоков на второй ступени соответственно по ВВ – 5 мг/л и по НП – 0,05 мг/л (табл. 2).

Однако применение такой конструкции становится невозможным в колодцах, не имеющих отстойной части. Поэтому авторами была усовершенст-

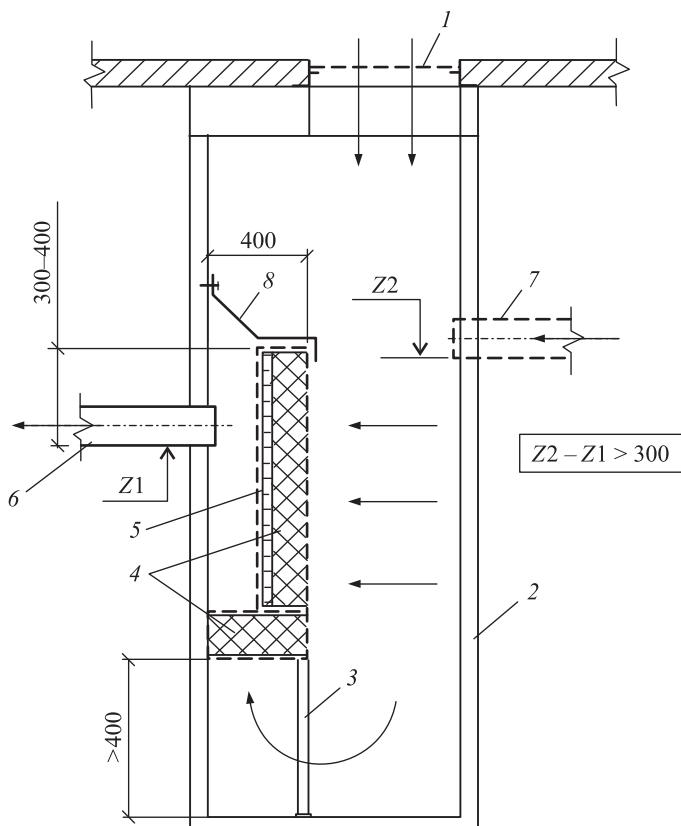


Рис. 2. Схема фильтрующего модуля ФМС

- 1 – люк с решеткой;
- 2 – колодец сборный ж/б;
- 3 – стойка опорная;
- 4 – элементы фильтрующего модуля с сорбционной загрузкой;
- 5 – подложка фильтрующая волокнисто-пористая;
- 6 – отводящий трубопровод;
- 7 – подводящий трубопровод;
- 8 – козырек защитный

Таблица 2. Параметры фильтрующего модуля

Марка изделия	Диаметр ж/б колодца, м	F_{ϕ} фильтрующего модуля, м^2	V_{ϕ} , м/ч	Гидравлическая нагрузка	
				$\text{м}^3/\text{ч}$	л/с
ФМС-1,0	1,0	0,9	5–7,5	4,5–6,8	1,3–1,9
ФМС-1,5	1,5	1,2	5–7,5	6,0–9,0	1,7–2,5
ФМС-1,5*	1,5	1,6	5–7,5	8,0–12,0	2,2–3,3
ФМС-2,0	2,0	1,7	5–7,5	8,5–12,8	2,4–3,5
ФМС-2,0*	2,0	2,4	5–7,5	12,0–18,0	3,3–5,0
ФМС-2,0**	2,0	3,2	7,5–10	24,0–32,0	6,7–8,9

вованная данная конструкция и разработана модель, применимая к участкам ливневой сети, колодцы которых не имеют отстойную часть [13].

На рис. 3 представлен общий вид усовершенствованного устройства. Оно включает корпус, в качестве которого, в частности, использован корпус дождеприемного колодца, выполненный из полимерного материала. На дне корпуса установлена вертикально ориентированная перегородка, разделяющая его на приемный и выходной отсеки. Внутри выходного отсека помещена фильтрующая ячейка, содержащая две перфорированные пластины, между которыми находится фильтрующая загрузка. Фильтрующая ячейка и перегородка смонтированы на монтажной подставке, помещенной на дне корпуса. Корпус снабжен крышкой, выполненной в виде плиты перекрытия колодца, в которой имеется расположенный над отсеком участок в виде дождеприемной решетки люка колодца. Высота перегородки меньше высоты корпуса так, что выше перегородки в корпусе образована свободная зона, благодаря наличию которой обеспечивается возможность перелива очищаемой воды из одного отсека в другой.

Работает фильтрующий модуль следующим образом. Поверхностные стоки через решетку стекают в приемный отсек корпуса, где происходит накопление и отстаивание очищаемой воды, при этом часть взвешенных частиц загрязнений выпадает на дно отсека. По мере заполнения отсека вода достигает верхнего уровня перегородки и перетекает через ее верхнюю кромку в зазор отсека, при этом часть частиц загрязнений выпадает на дно отсека. В фильтрационной ячейке происходит очистка предварительно отстоянной и частично очищенной от

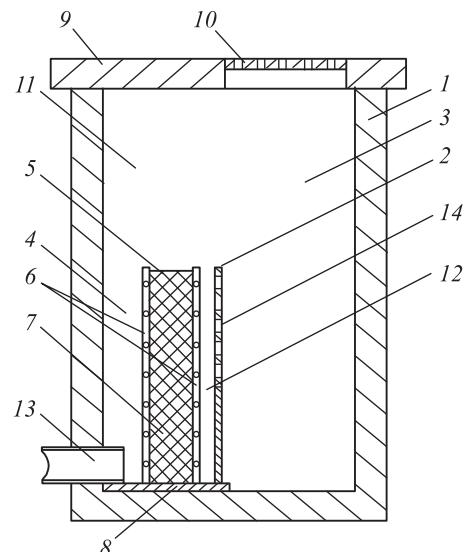


Рис. 3. Схема усовершенствованного фильтрующего модуля ФМС

1 – корпус; 2 – перегородка; 3 – приемный отсек; 4 – выходной отсек; 5 – фильтрующая ячейка; 6 – перфорированная пластина; 7 – фильтрующая ячейка; 8 – монтажная подставка; 9 – крышка; 10 – решетка; 11 – свободное пространство; 12 – вертикальный зазор; 13 – патрубок; 14 – сливные отверстия

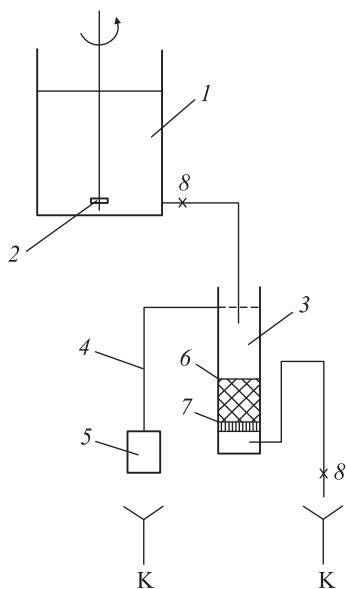


Рис. 4. Схема стенда по испытанию модели ФМС

1 – бак исходной модельной воды; 2 – мешалка; 3 – фильтровальная колонка; 4 – перелив; 5 – сборная емкость модельной воды; 6 – загрузка ТОРФОСОРБЕНТ; 7 – подложка волокнисто-пористая; 8 – зажим регулировочный; К – канализация

концентрация ВВ в ИМВ составляла порядка 200 мг/л, а НП – 10 мг/л.

Приготовление ИМВ производилось в баке (см. рис. 4), где осуществлялось постоянное перемешивание при помощи электромешалки. Из бака ИМВ самотеком поступала по прозрачному полиэтиленовому шлангу в фильтровальную колонку диаметром 100 мм, выполненную из оргстекла, при этом расход воды регулировался зажимом.

В колонке фильтрующая загрузка состояла из двух слоев: нижний – в виде подложки из волокнисто-пористого полиэтилена толщиной 4 мм (фильтрующий элемент ФЭС-Пл-700Х2000-4, ТУ 2291-001-27536148-2013), а верхний слой – ТОРФОСОРБЕНТ толщиной слоя 200 мм (материал фильтрующий изготовлен из верхового торфа моховой группы по ТУ 039133-001-12872024-16). Некоторый избыток ИМВ из верхней части колонки отводился через перелив в сборную емкость для возврата в бак или сбрасывался в канализацию.

Расход очищенной воды на выходе из колонки, а следовательно, и заданная скорость фильтрования, регулировался зажимом таким образом, чтобы скорость фильтрования в колонке имела задаваемое значение – 5; 7,5; 10 м/ч, при этом расход воды определялся при помощи мерного цилиндра и секундомера.

Отбор проб воды для анализа производился через заданные промежутки времени (1 ч) в течение фильтроцикла продолжительностью в одном опыте 5 ч. Содержание ВВ определялось на фотоэлектрокалориметре ФЭК-56М, а нефтепродукты – флуориметрическим методом на анализаторе жидкости

части загрязнений воды при прохождении ее через фильтрационную загрузку в направлении, нормальном направлению действия гравитационных сил. Очищенная вода удаляется из корпуса через патрубок. По окончании поступления воды на очистку часть воды через отверстия сливаются из отсека, что облегчает удаление накапливающегося в указанном отсеке осадка [14].

С целью выявления параметров работы усовершенствованной конструкции ФМС были проведены испытания.

Для испытаний использовался испытательный стенд (рис. 4). Испытания проведены на современном техническом уровне в условиях, приближенных к натурным, т.е. при работе ФМС, установленном в дождеприемном колодце на ливневой канализационной сети.

На испытательном стенде очистке подвергалась исходная модельная вода (ИМВ), которая приготавливается на водопроводной воде путем добавления в нее навески мелкозернистого песка дисперсностью 50–150 мкм, а также мерной порции нефтепродуктов (отработанное машинное масло) с тем, чтобы кон-

«Флюорат-02». Содержание загрязнений в исходной модельной воде ИМФ: взвешенные вещества – 200 мг/л; нефтепродукты – 10 мг/л. Продолжительность фильтроцикла в одном опыте 5 ч. Число опытов в одной серии 3.

Осредненные результаты опытов приведены в табл. 3.

Таблица 3. Показатели качества очищенной воды на выходе из фильтрационной колонки

Серия опытов	Скорость фильтрования V_{ϕ} , м/ч	ВВ, мг/л	НП, мг/л
1	5	5,5–7,8	0,19–0,25
2	7,5	8,3–10,5	0,23–0,27
3	10	13,0–17,1	0,33–0,51

Из табл. 3 видно, что при скорости фильтрования 7,5 м/ч достигаются приемлемые параметры очистки, соответствующие нормам сброса очищенных поверхностных стоков в общеславянную канализационную сеть, по нефтепродуктам (0,3 мг/л).

Вывод. Усовершенствованная конструкция ФМС с учетом новых технических решений обеспечивает качество очищенного поверхностного стока по взвешенным веществам до 10 мг/л, по нефтепродуктам до 0,3 мг/л.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ким А.Н., Михайлов А.В., Графова Е.О. Технические аспекты поверхностного стока с урбанизированных территорий: моногр. СПб.: СПбГАСУ, 2017. 200 с.
2. Михайлов А.В. Торфяные фильтрующие материалы для очистки вод // Финский залив 96: тез. докл. междунар. науч.-практ. симпоз. СПб.: Балтвод, 1996. С. 102–103.
3. Технические указания по проектированию и строительству дождевой канализации. М.: Стройиздат, 1985. 80 с.
4. Дикаревский В.С., Курганов А.М., Нечаев А.П., Алексеев М.И. Отведение и очистка поверхностных сточных вод. Л.: Стройиздат, 1990. 224 с.
5. Сизов А.А., Серпокрылов Н.С., Каменев Я.Ю. Методика выбора технологии очистки периодических сбросов сточных вод // Вестн. СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2012. № 4. С. 71–74.
6. Ким А.Н., Захаревич М.Б., Романова Ю.Б. Актуальные проблемы поверхностного стока с территории городов и пути их решения // Вестн. граждан. инженеров. 2014. № 1. С. 87–94.
7. Ким А.Н., Графова Е.О. Особенности очистки поверхностных стоков федеральной трассы «Кола» // Изв. вузов. Строительство. 2016. № 10–11. С. 49–58.
8. Пробирский М.Б., Рублевская О.Н., Ким А.Н., Иваненко И.И. Перспективы отведения и очистки поверхностного стока в Санкт-Петербурге // Водоснабжение и сан. техника. 2015. № 6. С. 32–40.
9. Ким А.Н., Михайлов А.В. Вопросы очистки поверхностного стока с городских и производственных территорий перед сбросом в природные водоемы // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Современное направление развития водоснабжения и водоотведения». Алматы: КазНИТУ, 2016. С. 12–15.

10. Боронина Л.В., Садчиков П.Н. Выбор оптимальных технологических схем очистки воды на основе программного комплекса «SUPWATER» // Вестн. СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2013. № 4. С. 15–18.
11. Ким А.Н., Да вы до в а Е.В. Воздействие загрязненного поверхностного стока на окружающую среду // Потенциал интеллектуально одаренной молодежи – развитие науки и образования: Материалы VI Междунар. науч. форума молодых ученых, студентов и школьников / Под общ. ред. Д.П. Ануфриева. Астрахань, 2017. С. 99–101.
12. Ким А.Н., Да вы до в а Е.В., Полянская Д.И. Отведение и очистка поверхностного стока в Астрахани: современное состояние и перспектива развития // Вестн. СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2016. № 2. С. 31–35.
13. Пат. РФ на полезную модель № 154656. Фильтр с торфяной загрузкой / А.Н. Ким, А.В. Михайлов, О.А. Продоус, А.С. Бондарчук, Е.Е. Розова // МПК B01D 24/04/E03F 5/04. Опубл. 27.08.2015. Бюл. № 24.
14. Пат. РФ на полезную модель № 167252. Устройство для очистки сточных вод / А.Н. Ким, О.А. Продоус, А.В. Михайлов, Е.В. Давыдова // МПК E03F 5/14. Опубл. 27.12.2016. Бюл. № 36.

Ким Аркадий Николаевич, д-р техн. наук, проф.; E-mail: kimkan17@mail.ru
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
Давыдова Екатерина Васильевна, асп.; E-mail: katya_11_05@mail.ru
Астраханский государственный архитектурно-строительный университет

Получено 23.06.17

Kim Arkadiy Nikolaevich, DSc, Professor; E-mail: kimkan17@mail.ru
Saint-Petersburg University of Civil Engineering and Architecture, Russia
Davydova Ekaterina Vasilievna, Post-graduate Student; E-mail: katya_11_05@mail.ru
Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

ENHANCEMENT OF FMS FILTER CELL THROUGH THE RUNOFF WATER SYSTEM

The article covers technical aspects of wastewater and mechanical treatment of surface water from urban land. In this paper we discuss the basic features of surface water and analyze the methods of mechanical treatment of surface water using a peat – like filter material. Also we present the elements of local purifiers, cleaning devices for surface water through the runoff water system of the city, and give advanced constructive solutions of structures and devices for treatment of surface water.

Keywords: surface water, suspended matters, petroleum products, purifiers, local purifiers.

REFERENCES

1. Ким А.Н., Михайлов А.В., Графова Е.О. Технические аспекты поверхностного стока с урбанизированных территорий: моногр. [Technical aspects of treatment surface water from urban land]. Saint-Petersburg, 2017. 200 p. (in Russian)
2. Михайлов А.В. Торфяные фильтрующие материалы для очистки вод [Peat filter materials for water purification]. Finskiy zaliv 96: tezisy dokladov mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo simpoziuma [The Gulf of Finland 96: proc. reports Intern. scientific.-pract. Symposium]. Saint-Petersburg, 1996. Pp. 102–103. (in Russian)

3. Tekhnicheskie ukazaniya po proektirovaniyu i stroitel'stvu dozhdevoy kanalizatsii [Engineering instructions for the design and construction of runoff water system]. Moscow, 1985. 80 p. (in Russian)
4. Dikarevskiy V.S., Kurganov A.M., Nечаев A.P., Алексеев M.I. Otvedenie i ochistka poverkhnostnykh stochnykh vod [Sewage disposal and treatment of surface water]. Leningrad, 1990. 224 p. (in Russian)
5. Sizov A.A., Serpokrylov N.S., Kamenev Ya.Yu. Metodika vybora tekhnologii ochistki periodicheskikh sbrosov stochnykh vod [Methodology of technology selection periodic cleaning of wastewater discharges]. Vestnik SGASU. Gradostroitel'stvo i arkhitektura [Bulletin SUACE. Urban planning and architecture]. 2012. No. 4. Pp. 71–74. (in Russian)
6. Kim A.N., Zakharevich M.B., Romanova Yu.B. Aktual'nye problemy poverkhnostnogo stoka s territorii gorodov i puti ikh resheniya [Actual problems of surface runoff from urban areas and ways of their solution]. Vestnik grazhdan. inzhenerov [Vestnik citizens engineers]. 2014. No. 1. Pp. 87–94. (in Russian)
7. Kim A.N., Grafova E.O. Osobennosti ochistki poverkhnostnykh stokov federal'noy trassy «Kola» [The features of surface waste water treatment from federal highway «Kola】]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2016. No. 10–11. Pp. 49–58. (in Russian)
8. Probirskiy M.B., Rublevskaya O.N., Kim A.N., Ivanenko I.I. Perspektivy otvedeniya i ochistki poverkhnostnogo stoka v Sankt-Peterburge [Perspectives for diversion and treatment of surface runoff in St. Petersburg]. Vodosnabzhenie i san. tekhnika [Water supply and san. technique]. 2015. No. 6. Pp. 32–40. (in Russian)
9. Kim A.N., Mikhaylov A.V. Voprosy ochistki poverkhnostnogo stoka s gorodskikh i proizvodstvennykh territoriy pered sbrosom v prirodnye vodoemny [The issues of treatment of surface runoff from urban and industrial areas before discharging to natural water bodies]. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Sovremennoe napravlenie razvitiya vodosnabzheniya i vodoobezpecheniya” [Materials. Intern. scientific.-pract. Conf. “Modern direction of development of water supply and sanitation”]. Almaty, 2016. Pp. 12–15. (in Russian)
10. Boronina L.V., Sadchikov P.N. Vybor optimal'nykh tekhnologicheskikh skhem ochistki vody na osnove programmnogo kompleksa “SUPWATER” [The choice of optimal technological schemes of water purification on the basis of software complex “SUPWATER”]. Vestnik SGASU. Gradostroitel'stvo i arkhitektura [Bulletin SUACE. Urban planning and architecture]. 2013. No. 4. Pp. 15–18. (in Russian)
11. Kim A.N., Davydova E.V. Vozdeystvie zagryaznenogo poverkhnostnogo stoka na okruzhayushchuyu sredu [The Impact of polluted runoff on the environment]. Potentsial intellektualno odarennoy molodezhi – razvitiyu nauki i obrazovaniya: Materialy VI Mezhdunarodnogo nauchnogo foruma molodykh uchenykh, studentov i shkol'nikov. Pod obshchey redaktsiei D.P. Anufrieva [The Potential of intellectually gifted young people – the development of science and education proceedings of the VI International scientific forum of young scientists, students and schoolchildren. Under the General editorship of D.P. Anufrieva]. Astrakhan', 2017. Pp. 99–101. (in Russian)
12. Kim A.N., Davydova E.V., Polyanskaya D.I. Otvedenie i ochistka poverkhnostnogo stoka v Astrakhani: sovremennoe sostoyanie i perspektiva razvitiya [Discharge and treatment of surface runoff in Astrakhan: current status and perspective of development]. Vestnik SGASU. Gradostroitel'stvo i arkhitektura [Bulletin SUACE. Urban planning and architecture]. 2016. No. 2. Pp. 31–35. (in Russian)

13. Patent RF na poleznuyu model No. 154656. Fil'tr s torfyanoy zagruzkoy [Patent of Russian Federation for utility model No. 154656. Filter with peat load] A.N. Kim, A.V. Mikhaylov, O.A. Prodous, A.S. Bondarchuk, E.E. Rozova. MPK B01D 24/04/E03F 5/04. Opubl. 27.08.2015. Bull. No. 24. (in Russian)
 14. Patent RF na poleznuyu model No 167252. Ustroystvo dlya ochistki stochnykh vod [Patent of Russian Federation for utility model No. 154656. Filter with peat load] A.N. Kim, O.A. Prodous, A.V. Mikhaylov, E.V. Davydova. MPK E03F 5/14. Opubl. 27.12.2016. Bull. No. 36. (in Russian)
-

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО, ГИДРАВЛИКА И ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ

УДК 627.84.001.24

Л.Н. ГАХОВА, Ю.А. КУЗНЕЦОВА

ПАСЧЕТ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ТУРБИННЫХ ВОДОВОДОВ В ТРЕХМЕРНОЙ ПОСТАНОВКЕ С УЧЕТОМ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА

Приводятся результаты расчета напряженного состояния сталежелезобетонного турбинного водовода с использованием метода граничных интегральных уравнений при особом сочетании нагрузок с учетом температурных воздействий и гидравлического удара. Расчеты, выполненные для условий водоводов Саяно-Шушенской ГЭС, показали, что запас прочности водовода обеспечивает несущую способность ГЭС и в экстремальных условиях особого сочетания нагрузок с учетом гидравлического удара, вызванного мгновенным скачком давления в водоводе.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, сталежелезобетонные турбинные водоводы, метод граничных интегральных уравнений, гидравлический удар.

В существующих российских нормативных документах приводятся, в основном, расчеты для плосконапряженных железобетонных конструкций гидротехнических сооружений [1–3], не учитывающие особенности их пространственного напряженно-деформированного состояния (НДС), в то время как для учета особенностей изменения нагрузок таких конструктивных элементов, как водоводы и спиральные камеры гидроагрегатов, требуется пространственный анализ их НДС.

Работающие в течение многих лет эксплуатации в условиях циклического нагружения сталежелезобетонные турбинные водоводы, испытывающие воздействие изменяющихся в широком диапазоне температур наружного воздуха и давления воды в водоводе, должны отвечать требованиям надежности и долговечности. В соответствии с нормативными документами (ГОСТ Р 55260.4.1–2013 и др.) при проектировании турбинных водоводов и расчетах прочности в эксплуатационный период давление воды в водоводе должно определяться с учетом его повышения при гидравлическом ударе. Это условие является необходимым, так как в период эксплуатации водоводов возможны нештатные ситуации, которые могут привести к возникновению гидравлического удара, сопровождающегося значительными по величине колебаниями давления в водоводе. Резкое повышение давления увеличивает напряжения в конструктивных элементах водовода.

Ниже приведены результаты численного моделирования в трехмерной постановке НДС стальной оболочки турбинного водовода Саяно-Шушен-

ской ГЭС, работающей совместно с железобетонной обделкой и двумя слоями кольцевой арматуры [4, 5]. Моделирование НДС сталежелезобетонных турбинных водоводов выполнялось с использованием метода граничных интегральных уравнений (МГИУ) для кусочно-однородных сред [4]. В работе приводятся результаты расчетов НДС нижней части прямолинейного участка водовода, примыкающего к зданию ГЭС (рис. 1). Результаты расчетов представлены для особого сочетания нагрузок с учетом гидравлического удара, сопровождающегося мгновенным скачком давления в водоводе, вызванного резким перекрытием трубопровода на участке его примыкания к зданию ГЭС (сечение I-I, рис. 1, a). В нормальном эксплуатационном режиме работы водовода давление в этом сечении при УМО 500 м – 1,89 МПа, при НПУ 540 м – 2,29 МПа.

Для особого сочетания нагрузок при расчете гидравлического удара рассматривался случай непрямого удара. Определена скорость распространения ударной волны с учетом физических параметров воды, материала водовода и температуры воды на пороге водоприемника ($t_{в.п.}$): при

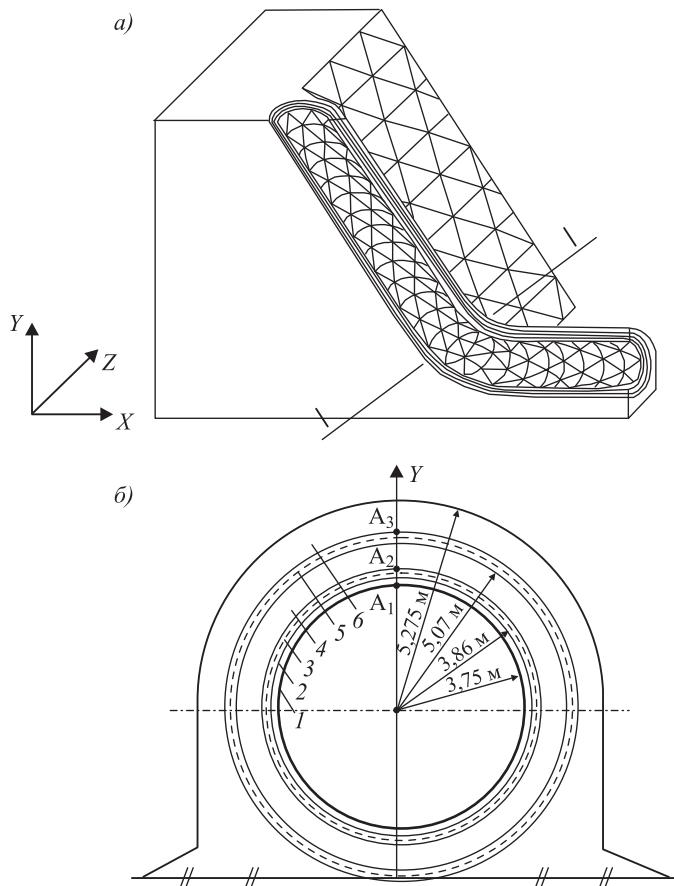


Рис. 1. Расчетная схема нижней части водовода (a) и поперечного сечения I-I (б)

1 – слой металлической оболочки (сталь 09Г2С); 2, 4, 6 – слои бетона (марка М250); 3, 5 – арматурные кольца стержней (сталь класса А-II, диаметр арматурных стержней внутренних и внешних колец от 40 до 70 мм)

$t_{\text{в.п}} = 2^{\circ}\text{C}$ – $C_V = 777,4 \text{ м/с}$ и при $t_{\text{в.п}} = 12,5^{\circ}\text{C}$ – $C_V = 790,35 \text{ м/с}$. Величина повышения давления составила в зимний период 0,352 МПа, в летний – 0,346 МПа.

В плоскости, перпендикулярной направляющей водовода, он представляет собой многослойное кольцо (рис. 1, б), состоящее из внутренней стальной оболочки (материал – сталь 09Г2С) и внешней железобетонной оболочки с двумя слоями арматурной стали (эквивалентными двум рядам кольцевой арматуры). При этом толщина каждого из арматурных колец принималась из условия равенства площади сечения кольца и площади сечения арматурных стержней в соответствующем ряду армирования [4–6]. Предполагалось, что металл оболочки, бетон и арматурные кольца – линейно деформируемые материалы.

В эксплуатационный период НДС водоводов определяется гидростатическим давлением внутри водовода, носящим циклический характер, сезонными изменениями температуры наружного воздуха и воды в водоводе, напряженно-деформированным состоянием низовой грани плотины, уровнем технологических напряжений, сформированных в процессе возведения сооружения, и другими факторами [7]. Так как низовая грань плотины сжата в продольном направлении (вдоль водовода), можно считать, что металлическая оболочка и арматура водовода также сжаты в продольном направлении и не работают в данном направлении при действии гидростатического давления в водоводе [5, 7]. В кольцевом направлении в металлической оболочке и арматуре напряжения формируются под воздействием гидростатической нагрузки и температурных сезонных изменений наружного воздуха и воды в водоводе.

Расчеты выполнялись для условий изменения температурного режима в районе ГЭС (см. рис. 2) и с учетом трещинообразования в бетоне [4, 5]. При этом учитывался опыт моделирования трещинообразования в железобетоне напорных водоводов [3, 4].

Исходные данные для расчетов принимались в соответствии с [4, 5]. Условия прочности при расчетах конструктивных элементов водовода для

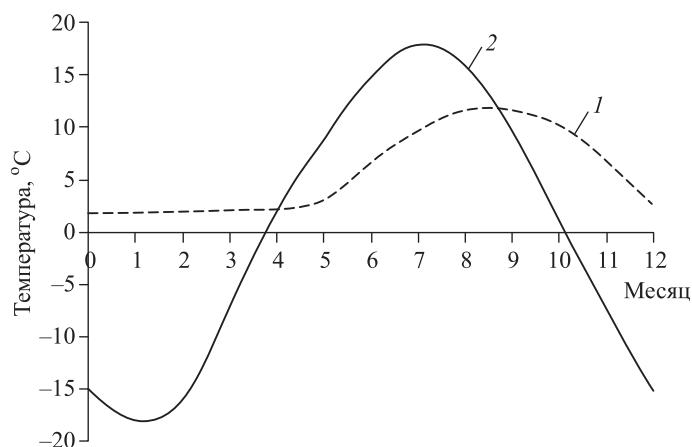


Рис. 2. Температура воды на пороге водоприемника (1) и сезонное колебание температуры воздуха (2) в районе Саяно-Шушенской ГЭС

особого сочетания нагрузок принимаются согласно СП 16.13330.2011, СП 52-101-2003. Нормативное сопротивление растяжению для стали 09Г2С – 300 МПа для стальной оболочки и 300 МПа для арматуры.

На рис. 3 приведены эпюры максимальных значений главных растягивающих (σ_1) и сжимающих (σ_3) напряжений в сечении I-I (см. рис. 1, a) для основного сочетания нагрузок в эксплуатационный период.

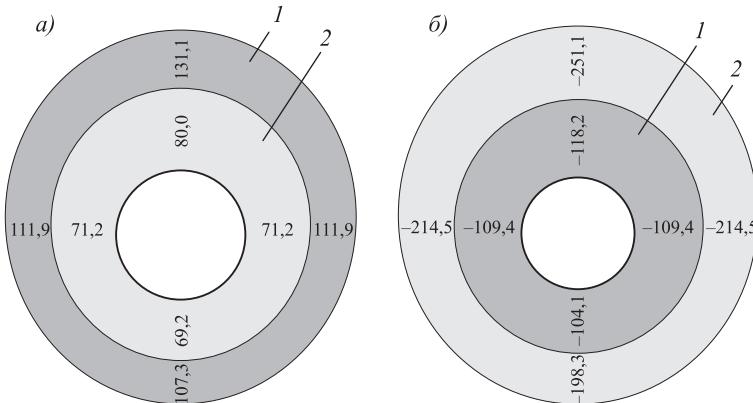


Рис. 3. Эпюры максимальных значений главных напряжений (МПа) σ_1 (a) и σ_3 (б) в стальной оболочке и внутреннем арматурном кольце водовода при основном сочетании нагрузок

1 – стальная оболочка; 2 – внутреннее арматурное кольцо

Так как определяющими в анализе прочности конструктивных элементов напорных водоводов являются растягивающие напряжения, в таблице приведены максимальные значения σ_1 при основном и особом сочетании нагрузок с учетом гидравлического удара для двух вариантов температуры воды на пороге водоприемника $t_{\text{в.п}} = 2$ и $12,5$ °C при соответствующих значениях температуры воздуха (см. рис. 2). Рис. 4 иллюстрирует распределение растягивающих главных напряжений σ_1 в нижней части водовода при особом сочетании нагрузок с учетом гидравлического удара.

Максимальные значения главных растягивающих напряжений σ_1 в конструктивных элементах водовода

Конструктивные элементы водовода	σ_1 , МПа	
	$T_{\min}^{\text{возд}} = -17,3$ °C; $t_{\text{в.п}} = 2$ °C	$T_{\max}^{\text{возд}} = +17,9$ °C; $t_{\text{в.п}} = 12,5$ °C

Основное сочетание нагрузок

Металлическая оболочка	131,1	119,5
Внутреннее арматурное кольцо	80,0	57,1
Внешнее арматурное кольцо	98,2	71,4

Особое сочетание нагрузок с учетом гидравлического удара

Металлическая оболочка	163,3	161,8
Внутреннее арматурное кольцо	144,5	140,7
Внешнее арматурное кольцо	124,8	119,4

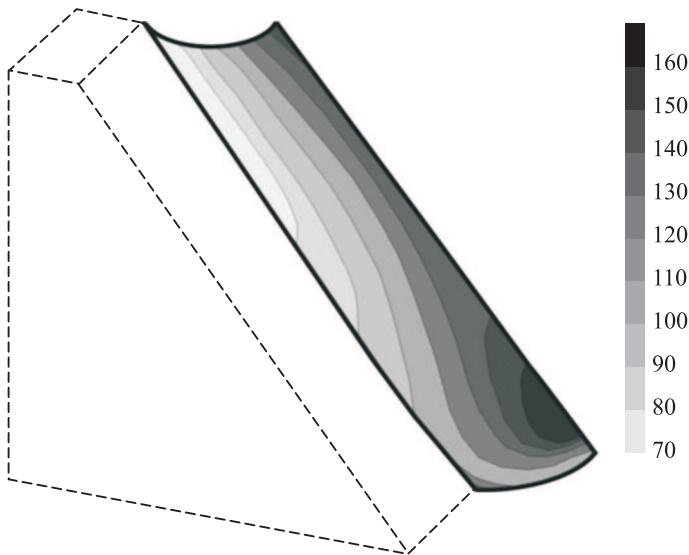


Рис. 4. Главные растягивающие напряжения σ_1 в металлической оболочке водовода на нижнем его участке

Анализ результатов расчетов позволяет отметить следующее.

При основном сочетании нагрузок растягивающие напряжения σ_1 в металлической оболочке по сечению распределены неравномерно (см. рис. 3, а): наибольшие напряжения σ_1 наблюдаются в верхней части, наиболее удаленной от низовой грани, меньшие значения – в точке сопряжения низовой грани с водоводом.

В боковых частях оболочки растягивающие напряжения не превосходят 85 % от максимальных значений. В зимний период σ_1 в верхней части металлической оболочки повышается на $\approx 10\%$ (см. таблицу).

Аналогичный характер распределения σ_1 наблюдается во внутреннем арматурном кольце: в боковых частях растягивающие напряжения не превосходят 88 % от максимальных значений (в верхней части арматурного кольца σ_1 достигает 80 МПа, см. рис. 3, а), наименьшие значения – в месте заделки водовода в низовую грань плотины.

Такой характер распределения σ_1 свидетельствует о возможных растягивающих деформациях контура металлической оболочки и арматуры в направлении, параллельном низовой грани.

Мгновенное перекрытие трубопровода (гидравлический удар), вызывающее скачок давления в водоводе, приводит к перераспределению напряжений в его конструктивных элементах:

- в металлической оболочке максимальное значение σ_1 достигает 163,3 МПа, что снижает коэффициент запаса ее прочности до 1,8 (против 2,2 при основном сочетании нагрузок);

- если растягивающие главные напряжения во внутреннем арматурном кольце при основном сочетании нагрузок меньше, чем во внешнем, то гидравлический удар приводит к изменению характера распределения σ_1 (см. таблицу). Коэффициент запаса прочности во внутреннем арматурном кольце составляет 2,0 (σ_1 достигает 144,5 МПа), во внешнем арматурном кольце – до 2,4 (σ_1 – 124,8 МПа);

– область наибольших растягивающих напряжений при гидравлическом ударе в металлической оболочке сосредоточена в верхней части сечения, перпендикулярного направляющей водовода и распространяется от места перекрытия водовода на расстояние до 2,5–3 его диаметров (см. рис. 4).

Таким образом, установлено, что запас прочности конструктивных элементов водовода не менее 1,8, что обеспечивает несущую способность сталежелезобетонного водовода Саяно-Шушенской ГЭС при основном сочетании нагрузок и в экстремальных условиях особого сочетания нагрузок с учетом гидравлического удара, вызванного мгновенным скачком давления в водоводе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Козинец Г.Л. Алгоритм расчета сталежелезобетонных водоводов // Инж.-строит. журн. 2011. № 6. С. 41–50.
2. Александров Ю.Н. Об измерениях напряжений в арматуре массивных железобетонных конструкций // Гидротехн. стр-во. 2011. № 2. С. 19–23.
3. Лисичкин С.Е., Рубин О.Д., Николаев Б.А., Камнев Н.М. Особенности расчета и проектирования сталежелезобетонных напорных водоводов // Гидротехн. стр-во. 1999. № 1. С. 37–44.
4. Гахова Л.Н., Кузнецова Ю.А. Расчет напряжений в сталежелезобетонных турбинных водоводах методом граничных интегральных уравнений // Известия вузов. Строительство. 2010. № 8. С. 59–65.
5. Гахова Л.Н., Кузнецова Ю.А. Математическое моделирование напряженного состояния сталежелезобетонных турбинных водоводов в трехмерной постановке // Известия вузов. Строительство. 2015. № 6. С. 43–49.
6. Гахова Л.Н. Влияние техногенных воздействий на напряженное состояние многослойных сталежелезобетонных конструкций // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. Новосибирск: ИГД СО РАН, 2015. № 8. С. 219–224.
7. Пермякова Л.С., Рассказчиков В.А., Ульянский В.А., Епифанов А.П., Кузнецова Ю.А. Напряженно-деформированное состояние элементов напорного тракта турбин Саяно-Шушенской ГЭС // Гидротехн. стр-во. 2008. № 11. С. 11–18.

Гахова Лидия Николаевна, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотрудник
Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, Саяно-Шушенский филиал
Сибирского федерального университета, г. Красноярск

Кузнецова Юлия Анатольевна, канд. техн. наук, доц.
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено 28.06.17

Gakhova Lidiya Nikolaevna, PhD, Senior Researcher

Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Sayano-Shushensky Division Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Kuznetsova Yuliya Anatolievna, PhD, Ass. Professor

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

CALCULATION OF THE STRESS STATE OF STEEL AND CONCRETE POWER CONDUITS IN A THREE-DIMENSIONAL SETTING, TAKING INTO ACCOUNT HYDRAULIC SHOCK

The results of calculating the stress state of steel and concrete power conduit using the method of boundary integral equations with the special combination of loads the effects of temperature and water hammer calculations performed for the conditions of the penstocks of the Sayano-Shushenskaya HPP. The calculations executed for conditions of conduits of Sayano-Shushenskaya hydroelectric power plant have shown that the margin of safety of a conduit provides the bearing ability of hydroelectric power station in extreme conditions of a special combination of loadings taking into account the water hammer caused by instant pressure jump in a conduit.

K e y w o r d s: the stress-strain state, steel and concrete power conduits, boundary integral equations method, hydraulic shock.

REFERENCES

1. Kozinets G.L. Algoritm rascheta stalezhelezobetonnykh vodovodov [Calculation algorithm of steel-reinforced concrete water passages]. Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal [Magazine of Civil Engineering]. 2011. No. 6. Pp. 41–50. (in Russian)
2. Alexандров Yu.N. Ob izmereniyakh napryazheniy v armature massivnykh zhelezobetonnykh konstruktsiy [About measurements of tension in of stresses in the reinforcement of massive concrete structures]. Gidrotehnicheskoe stroitel'stvo [Hydroengineering Construction]. 2011. No. 2. Pp. 19–23. (in Russian)
3. Lisichkin S.E., Rubin O.D., Nikolaev B.A., Kamnev N.M. Osobennosti rascheta i proektirovaniya stalezhelezobetonnykh napornykh vodovodov [Features of calculating and designing the composite pressure conduit]. Gidrotehnicheskoe stroitel'stvo [Hydroengineering Construction]. 1999. No. 1. Pp. 37–44. (in Russian)
4. Gakhova L.N., Kuznetsova Yu.A. Raschet napryazheniy v stalezhelezobetonnykh turbinnikh vodovodakh metodom granichnykh integral'nykh uravneniy [Boundary integral approach to stress calculation in steel and concrete power conduits]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2010. No. 8. Pp. 59–65. (in Russian)
5. Gakhova L.N., Kuznetsova Yu.A. Matematicheskoe modelirovaniye napryazhennogo sostoyaniya stalezhelezobetonnykh turbinnikh vodovodov v trekhmernoy postanovke [Mathematical modeling of the stressed state of steel reinforced concrete turbine conduits in three-dimensional statement]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2015. No. 6. Pp. 43–49. (in Russian)
6. Gakhova L.N. Vliyanie tekhnogennykh vozdeystviy na napryazhennoe sostoyanie mnogosloynykh stalezhelezobetonnykh konstruktsiy [Induced stresses in sandwich structures of iron and steel]. Fundamental'nye i prikladnye voprosy gornoikh nauk [Fundamental and applied problems of mining sciences]. Novosibirsk, 2015. No. 8. Pp. 219–224. (in Russian)
7. Permyakova L.S., Rasskazchikov V.A., Ulyashinskii V.A., Epifanov A.P., Kuznetsova Yu.A. Napryazhенно-deformirovannoe sostoyanie elementov napornogo trakta turbin Sayano-Shushenskoy GES [Stress-strain state of power conduit elements in turbines of the Sayano-Shushenskaya hydroelectric power station]. Gidrotehnicheskoe stroitel'stvo [Hydroengineering Construction]. 2008. No. 11. Pp. 11–18. (in Russian)

УДК 627.824 : 624.131.6

Х. ФАЙЗИЕВ, Т. ХОЖИЕВ, И. ХАЖИЕВ, Ш. РАХИМОВ

**ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ
НЕУСТАНОВИВШЕЙСЯ ФИЛЬТРАЦИИ
В ГРУНТОВЫХ ПЛОТИНАХ С УЧЕТОМ
ФИЛЬТРАЦИОННОЙ АНИЗОТРОПНОСТИ ГРУНТОВ
МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ**

Приводится алгоритм решения задачи неустановившейся фильтрации в грунтовых плотинах с учетом анизотропности грунтов методом конечных разностей. Возможности разработанной методики, программы расчета неустановившейся фильтрации и оценка достоверности полученных результатов иллюстрируются на примере фильтрационных задач.

Ключевые слова: грунтовые плотины, фильтрация, неустановившаяся фильтрация, быстрое снижение уровня воды в верхнем бьефе, скорость снижения уровня воды, метод конечных разностей, фильтрационная анизотропия грунтов.

При строительстве, а также в процессе эксплуатации земляных плотин из глинистых и супесчаных грунтов в зависимости от типа применяемых механизмов, технологии производства работ в ряде случаев грунт тела плотины приобретает анизотропную водопроницаемость. При этом материал тела плотины может быть как однородно-анизотропным, так и состоять из чередующихся тонкослоистых изотропных пластов с различными значениями коэффициента фильтрации K . В насыпях, возведенных как послойной укаткой грунта, так и средствами гидромеханизации, значение K_x может на порядок превышать значение K_y .

Известно, что в вертикальном направлении водопроницаемость лессовых грунтов (в естественном залегании) больше, чем в горизонтальном. В ряде других грунтов мы можем наблюдать обратную картину. Изучением фильтрации в земляных плотинах с учетом их анизотропной водопроницаемости занимались многие исследователи, среди которых Н.Н. Павловский, В.И. Аравин, С.Н. Нумеров, П.Я. Полубаринова-Кочина, В.П. Недрига, Л.Н. Рассказов, Н.А. Анискин, К.Н. Анахаев, Р.А. Ляхевич, М.Е. Мемариан-фард, Х. Файзиев, С.Н. Бабакаев и др.

Решение задачи фильтрации в анизотропной земляной плотине точными методами весьма затруднительно. Естественно, качественно более высокий уровень решения подобных задач обычно достигается с помощью численных методов конечных разностей. Математическая формулировка рассматриваемой начально-краевой задачи анизотропной неустановившейся фильтрации в общем случае описывается трехмерными нелинейными уравнениями параболического типа при различных краевых условиях [1]. С учетом симметричности по некоторым пространственным осям, в частности,

их можно привести к двухмерным уравнениям в прямоугольной области $\Omega = \{a \leq x \leq b, c \leq y \leq d, t_n \leq t \leq t_k\}$ в виде

$$A_0 \frac{\partial U}{\partial t} = A_1 \frac{\partial}{\partial x} \left(A_2 \frac{\partial U}{\partial x} \right) + A_3 \frac{\partial}{\partial y} \left(A_4 \frac{\partial U}{\partial y} \right) + A_5 \frac{\partial U}{\partial x} + A_6 \frac{\partial U}{\partial y} + F, \quad (1)$$

при граничных условиях

$$g_{11} \frac{\partial U}{\partial x} \Big|_{x=a} + g_{12} U(a, y, t) = \varphi_1(y, t), \quad c \leq y \leq d, \quad (2)$$

$$g_{21} \frac{\partial U}{\partial x} \Big|_{x=b} + g_{22} U(b, y, t) = \varphi_2(y, t), \quad c \leq y \leq d, \quad (3)$$

$$g_{13} \frac{\partial U}{\partial y} \Big|_{y=c} + g_{14} U(x, c, t) = \varphi_3(x, t), \quad a \leq x \leq b, \quad (4)$$

$$g_{23} \frac{\partial U}{\partial y} \Big|_{y=d} + g_{24} U(x, d, t) = \varphi_4(x, t), \quad a \leq x \leq b \quad (5)$$

и начальным условием

$$U(x, y, t) \Big|_{t=0} = \psi(x, y), \quad (6)$$

где коэффициенты A_k ($k = \overline{0,6}$) и функция F могут быть функциями t, x, y, U, U_x и U_y , в частности, постоянные, которые используются для описания уравнения (1);

g_{ij} – коэффициенты, применяемые для описания различных граничных условий;

$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ и ψ – заданные непрерывные функции.

Предположим, что заданные функции удовлетворяют всем условиям, при которых существует единственное решение задачи. Для решения данной задачи (1)–(6), которая в общем случае нелинейная, можно применить различные численные методы решения и линеаризации. Согласно вышеизложенному, основной целью работы является создание алгоритма и программы для численного решения данной задачи.

Для численного моделирования поставленной задачи (1)–(6) используется метод переменных направлений (МПН). Сначала непрерывная область Ω приводится к дискретной Ω_{hlt} , с постоянными шагами $h = (b-a)/(m-1)$; $l = (d-c)/(n-1)$; $\tau = (t_k - t_n)/(p-1)$, по осям Ox , Oy и Ot соответственно. Затем можно применить аппроксимацию задачи (1)–(6) в узловых точках $x_i = a + (i-1)h$, $y_j = c + (j-1)l$ и $t_s = t_n + (s-1)\tau$ сеточной области Ω_{hlt} , и привести к конечно-разностному уравнению в зависимости от выбранного метода. Нелинейная функция F в правой части уравнения (1) может быть приведена к линейному виду с использованием метода линеаризации Пикара или Ньютона. Существуют также и другие методы линеаризации, но на практике наиболее применимы указанные методы.

По методу Пикара значения нелинейных функций устанавливаются по значениям предыдущего промежутка времени, а для итерационного случая – из предыдущей итерации. В алгоритме это реализуется введением не-

которого параметра μ_1 так, чтобы по его значению можно было подобрать способ линеаризации [2]. Если нелинейность F связана только с U , то линеаризованная функция F имеет следующий вид

$$F(t, x, y, U, U_x, U_y) \approx F(t_s, x_i, y_j, (U)_{ij}^s, (U_x)_{ij}^s, (U_y)_{ij}^s) + \\ + \mu_1 F'_U(t_s, x_i, y_j, (U)_{ij}^s, (U_x)_{ij}^s, (U_y)_{ij}^s)(U_{ij}^{s+1} - U_{ij}^s). \quad (7)$$

В результате использованного способа линеаризации при значении $\mu_1 = 0$ получим метод Пикара, а при $\mu_1 = 1$ – метод Ньютона. Если нелинейность относится к U_x, U_y , то тогда их также можно линеаризовать таким же образом

$$F(t, x, y, U, U_x, U_y) \approx F(t_s, x_i, y_j, (U)_{ij}^s, (U_x)_{ij}^s, (U_y)_{ij}^s) + \\ + \mu_1 (F'_{U_x}(t_s, x_i, y_j, (U)_{ij}^s, (U_x)_{ij}^s, (U_y)_{ij}^s)((U_x)_{ij}^{s+1} - (U_x)_{ij}^s)) + \\ + F'_{U_y}(t_s, x_i, y_j, (U)_{ij}^s, (U_x)_{ij}^s, (U_y)_{ij}^s)((U_y)_{ij}^{s+1} - (U_y)_{ij}^s)). \quad (8)$$

Для численного решения поставленной задачи целесообразно применить абсолютно устойчивые неявные схемы, как МПН с весовым коэффициентом σ , который используется для подбора расчетных формул с помощью явной ($\sigma = 0$), неявной ($\sigma = 1$) и симметричной ($\sigma = 0,5$) схемы. Принимая во внимание сущность МПН, получим расчетные формулы сначала по направлению x , в промежуточном отрезке $(s + 1/2)$ в виде:

$$A_{0ij}^s \frac{U_{ij}^{s+1} - U_{ij}^s}{\tau} = \sigma A_{1ij}^s \frac{1}{h} \left[A_{2i+1j}^s \frac{U_{i+1j}^{s+1} - U_{ij}^{s+1}}{h} - A_{2ij}^s \frac{U_{ij}^{s+1} - U_{i-1j}^{s+1}}{h} \right] + \\ + (1-\sigma) A_{3ij}^s \frac{1}{l} \left[A_{4ij+1}^s \frac{U_{ij+1}^s - U_{ij}^s}{l} - A_{4ij}^s \frac{U_{ij}^s - U_{ij-1}^s}{l} \right] + \sigma A_{5ij}^s \frac{U_{i+1j}^{s+1} - U_{i-1j}^{s+1}}{2h} + \quad (9) \\ + (1-\sigma) A_{6ij}^s \frac{U_{ij+1}^s - U_{ij-1}^s}{2l} + F_{ij}^s + \mu_1 F'_{Uij} \left(U_{ij}^{s+1} - U_{ij}^s \right)$$

и аналогичный вид расчетной формулы по переменной y в $s + 1$:

$$A_{0ij}^{s+1} \frac{U_{ij}^{s+1} - U_{ij}^{s+2}}{\tau} = (1-\sigma) A_{1ij}^{s+1} \frac{1}{h} \left[A_{2i+1j}^{s+1} \frac{U_{i+1j}^{s+1} - U_{ij}^{s+1}}{h} - A_{2ij}^{s+1} \frac{U_{ij}^{s+1} - U_{i-1j}^{s+1}}{h} \right] + \\ + \sigma A_{3ij}^{s+1} \frac{1}{l} \left[A_{4ij+1}^{s+1} \frac{U_{ij+1}^{s+1} - U_{ij}^{s+1}}{l} - A_{4ij}^{s+1} \frac{U_{ij}^{s+1} - U_{ij-1}^{s+1}}{l} \right] + \quad (10) \\ + (1-\sigma) A_{5ij}^{s+1} \frac{U_{i+1j}^{s+1} - U_{i-1j}^{s+1}}{2h} + \sigma A_{6ij}^{s+1} \frac{U_{ij+1}^{s+1} - U_{ij-1}^{s+1}}{2l} + F_{ij}^{s+1} + \mu_1 F'_{Uij} \left(U_{ij}^{s+1} - U_{ij}^{s+2} \right).$$

Упростив коэффициенты, стоящие перед $U_{i-1j}^{s+\frac{1}{2}}$, $U_{ij}^{s+\frac{1}{2}}$, $U_{i+1j}^{s+\frac{1}{2}}$ в (9) и перед U_{ij-1}^{s+1} , U_{ij}^{s+1} , U_{ij+1}^{s+1} в (10), получим трехдиагональные системы уравнений специального вида

$$A_{ij}^s U_{i-1j}^{s+\frac{1}{2}} + C_{ij}^s U_{ij}^{s+\frac{1}{2}} + B_{ij}^s U_{i+1j}^{s+\frac{1}{2}} = D_{ij}^s, \quad (11)$$

$$A_{ij}^{s+\frac{1}{2}} U_{ij-1}^{s+1} + C_{ij}^{s+\frac{1}{2}} U_{ij}^{s+1} + B_{ij}^{s+\frac{1}{2}} U_{ij+1}^{s+1} = D_{ij}^{s+\frac{1}{2}}. \quad (12)$$

Здесь $i = \overline{2, m-1}$; $j = \overline{2, n-1}$; $A_{ij}^s, C_{ij}^s, B_{ij}^s, D_{ij}^s, A_{ij}^{s+\frac{1}{2}}, C_{ij}^{s+\frac{1}{2}}, B_{ij}^{s+\frac{1}{2}}, D_{ij}^{s+\frac{1}{2}}$ определяются из (9)–(10). Для решения системы (11) и (12) можно привести формулы по методу скалярной прогонки [1]:

$$\alpha_i^s = -\frac{B_{ij}^s}{C_{ij}^s + A_{ij}^s \alpha_{i-1}^s}, \quad \beta_i^s = \frac{D_{ij}^s - A_{ij}^s \beta_{i-1}^s}{C_{ij}^s + A_{ij}^s \alpha_{i-1}^s} \quad (i = \overline{2, m-1}, j = \overline{2, n-1}), \quad (13)$$

$$U_{ij}^{s+\frac{1}{2}} = \alpha_i^s U_{i+1j}^{s+\frac{1}{2}} + \beta_i^s \quad (i = m-1, m-2, \dots, 3, 2; j = \overline{2, n-1}). \quad (14)$$

Значения α_1^s и β_1^s в (13) определяются по граничному условию (2). В частности, для граничного условия первого рода при $g_{11} = 0$, $g_{12} = 1$ (задача Дирихле) имеем $\alpha_1^s = 0$ и $\beta_1^s = U_{1j}^s = \varphi_1$. Учитывая это и остальные случаи граничных условий на левой границе $x = a$, предлагается следующий алгоритм. Известно, что трехточечная аппроксимация в граничном условии (2) задачи (1)–(6) имеет вид

$$g_{11} \frac{-U_{3j}^{s+\frac{1}{2}} + 4U_{2j}^{s+\frac{1}{2}} - 3U_{1j}^{s+\frac{1}{2}}}{2h} + g_{12} U_{1j}^{s+\frac{1}{2}} = \varphi_{1j}. \quad (15)$$

Используя (15) и формулы (11) при $i = 1$, (14) при $i = 2$, получим следующую систему уравнений относительно $U_{1j}^{s+\frac{1}{2}}, U_{2j}^{s+\frac{1}{2}}, U_{3j}^{s+\frac{1}{2}}$:

$$\begin{cases} A_{2j}^s U_{1j}^{s+\frac{1}{2}} + C_{2j}^s U_{2j}^{s+\frac{1}{2}} + B_{2j}^s U_{3j}^{s+\frac{1}{2}} = D_{2j}^s, \\ U_{1j}^{s+\frac{1}{2}} = \alpha_1^s U_{2j}^{s+\frac{1}{2}} + \beta_1^s, \\ g_{11} \left(-U_{3j}^{s+\frac{1}{2}} + 4U_{2j}^{s+\frac{1}{2}} - 3U_{1j}^{s+\frac{1}{2}} \right) + 2h g_{12} U_{1j}^{s+\frac{1}{2}} = 2h \varphi_{1j}. \end{cases} \quad (16)$$

Из первого уравнения получим

$$U_{3j}^{s+\frac{1}{2}} = (D_{2j}^s - A_{2j}^s U_{1j}^{s+\frac{1}{2}} - C_{2j}^s U_{2j}^{s+\frac{1}{2}}) / B_{2j}^s$$

и, подставив это выражение в третье уравнение (16), можно определить

$$U_{1j}^{s+\frac{1}{2}} = -\frac{g_{11}(C_{2j}^s + 4B_{2j}^s)}{g_{11}(A_{2j}^s - 3B_{2j}^s) + 2hg_{12}B_{2j}^s} U_{2j}^{s+\frac{1}{2}} + \frac{2hB_{2j}^s \Phi_{1j}^s + g_{11}D_{2j}^s}{g_{11}(A_{2j}^s - 3B_{2j}^s) + 2hg_{12}B_{2j}^s}.$$

Отсюда:

$$\alpha_{1j}^s = -\frac{g_{11}(C_{2j}^s + 4B_{2j}^s)}{g_{11}(A_{2j}^s - 3B_{2j}^s) + 2hg_{12}B_{2j}^s}, \quad \beta_{1j}^s = \frac{2hB_{2j}^s \Phi_{1j}^s + g_{11}D_{2j}^s}{g_{11}(A_{2j}^s - 3B_{2j}^s) + 2hg_{12}B_{2j}^s}. \quad (17)$$

Точно также в аналогичном виде для определения граничного значения найдем функцию $U_{mj}^{s+\frac{1}{2}}$ из (3), на правой границе $x = b$ при $i = m - 1$, используя уравнения (11), (14) и трехточечную аппроксимацию в (3)

$$\begin{cases} A_{m-1j}^s U_{m-2j}^{s+\frac{1}{2}} + C_{m-1j}^s U_{m-1j}^{s+\frac{1}{2}} + B_{m-1j}^s U_{mj}^{s+\frac{1}{2}} = D_{m-1j}^s, \\ U_{m-1j}^{s+\frac{1}{2}} = \alpha_{m-1}^s U_{mj}^{s+\frac{1}{2}} + \beta_{m-1}^s, \\ g_{21} \frac{3U_{mj}^{s+\frac{1}{2}} - 4U_{m-1j}^{s+\frac{1}{2}} + U_{m-2j}^{s+\frac{1}{2}}}{2h} + g_{22} U_{mj}^{s+\frac{1}{2}} = \Phi_{2j}^s. \end{cases} \quad (18)$$

Определим $U_{m-2j}^{s+\frac{1}{2}}$ из первого уравнения и, подставляя его в последнее уравнение с помощью второго уравнения (18), получим

$$U_{mj}^{s+\frac{1}{2}} = \frac{2hA_{m-1j}^s \Phi_{2j}^s - g_{21}D_{m-1j}^s + g_{21}(4A_{m-1j}^s + C_{m-1j}^s)\beta_{m-1}^s}{g_{21}(3A_{m-1j}^s - B_{m-1j}^s) + 2hg_{22}A_{m-1j}^s - g_{21}\alpha_{m-1}^s(4A_{m-1j}^s + C_{m-1j}^s)}. \quad (19)$$

Метод расчета для решения систем уравнений (12) по направлению переменной y организуется аналогично, как в (13)–(14):

$$\alpha_j^{s+\frac{1}{2}} = -\frac{B_{ij}^{s+\frac{1}{2}}}{C_{ij}^{s+\frac{1}{2}} + A_{ij}^{s+\frac{1}{2}} \alpha_{j-1}^{s+\frac{1}{2}}}, \quad \beta_j^{s+\frac{1}{2}} = \frac{D_{ij}^{s+\frac{1}{2}} - A_{ij}^{s+\frac{1}{2}} \beta_{j-1}^{s+\frac{1}{2}}}{C_{ij}^{s+\frac{1}{2}} + A_{ij}^{s+\frac{1}{2}} \alpha_{j-1}^{s+\frac{1}{2}}} \quad (i = \overline{2, m-1}, j = \overline{2, n-1}), \quad (20)$$

$$U_{ij}^{s+1} = \alpha_j^{s+\frac{1}{2}} U_{ij+1}^{s+1} + \beta_j^{s+\frac{1}{2}} \quad (i = \overline{2, m-1}; j = n-1, n-2, \dots, 2). \quad (21)$$

Тогда можно определить формулы для расчетов по (20) при $y=c$:

$$\alpha_1^{s+\frac{1}{2}} = -\frac{g_{13} \left(C_{i2}^{s+\frac{1}{2}} + 4B_{i2}^{s+\frac{1}{2}} \right)}{g_{13} A_{i2}^{s+\frac{1}{2}} - 3g_{13} B_{i2}^{s+\frac{1}{2}} + 2g_{14} l B_{i2}^{s+\frac{1}{2}}},$$

$$\beta_1^{\frac{s+1}{2}} = -\frac{2lB_{i2}^{\frac{s+1}{2}}\phi_{3i} + g_{13}D_{i2}^{\frac{s+1}{2}}}{g_{13}A_{i2}^{\frac{s+1}{2}} - 3g_{13}B_{i2}^{\frac{s+1}{2}} + 2g_{14}lB_{i2}^{\frac{s+1}{2}}} \quad (22)$$

и значение функции при $y=d$

$$U_{in}^{s+1} = \frac{2lA_{in-1}^{\frac{s+1}{2}}\phi_{4i} - g_{23}D_{in-1}^{\frac{s+1}{2}} + g_{23}\left(4A_{in-1}^{\frac{s+1}{2}} + C_{in-1}^{\frac{s+1}{2}}\right)\beta_{n-1}^{\frac{s+1}{2}}}{g_{23}\left(3A_{in-1}^{\frac{s+1}{2}} - B_{in-1}^{\frac{s+1}{2}}\right) + 2g_{24}lA_{in-1}^{\frac{s+1}{2}} - g_{23}\left(4A_{in-1}^{\frac{s+1}{2}} + C_{in-1}^{\frac{s+1}{2}}\right)\alpha_{n-1}^{\frac{s+1}{2}}}. \quad (23)$$

Расчетный процесс можно вести по времени или итерационно. Известно, что если расчеты ведутся только по отрезкам времени, т.е. без итерации, то линеаризация осуществляется по предыдущим промежуткам времени. Но для итерационного случая расчеты производятся между промежутками времени, и итерационный процесс продолжается до тех пор пока не выполняется условие сходимости

$$\max_{ij} \{|U_{ij}^{(k+1)s+1} - U_{ij}^{(k)s+1}|>\varepsilon\}, \quad (24)$$

где ε – достаточно малое число, $0 < \varepsilon < 1$;

k – номер итерации, $k = 0, 1, 2, \dots$

Для данного алгоритма решения задачи (1)–(6) с использованием метода скалярной прогонки составлена программа расчета неустановившейся фильтрации в грунтовых плотинах.

Тестовая задача. Рассмотрим уравнение

$$\mu \frac{\partial H}{\partial t} = K_x \frac{\partial}{\partial x} \left(H \frac{\partial H}{\partial x} \right) + K_y \frac{\partial}{\partial y} \left(H \frac{\partial H}{\partial y} \right), \quad (25)$$

с начально-краевыми условиями при $K_x = K_y$ начальное условие принимается как для изотропной фильтрации по формуле

$$H(t, x, y)|_{t=t_n=0} = \sqrt{H_1^2 - \frac{H_1^2 - H_2^2}{L}x}, \quad (26)$$

при анизотропной фильтрации начальные положения кривой депрессии $t=0$ принимаем по формулам работы [3]:

$$H(t, x, y)|_{x=a} = H_1 - \vartheta_1 t, \quad (27)$$

$$H(t, x, y)|_{x=b} = H_2 - \vartheta_2 t, \quad (28)$$

$$\left. \frac{\partial H}{\partial y} \right|_{y=c} = 0, \quad (29)$$

$$\left. \frac{\partial H}{\partial y} \right|_{y=d} = 0, \quad (30)$$

где H – напорная функция в расчетной области, зависящая от координат и изменяющаяся во времени, м;

t – время, сут;

a, b, c, d – границы области расчетного профиля;

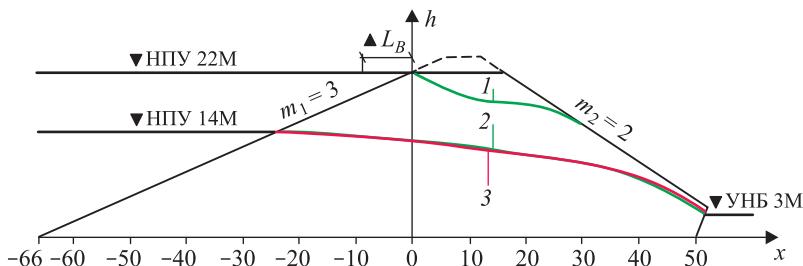
K_x, K_y – коэффициенты фильтрации по вертикали и горизонтали соответственно, в частности, они постоянные, м/сут;

μ – коэффициент водоотдачи грунта тела плотины;

H_1, H_2 – глубина воды соответственно в верхнем и нижнем бьефе;

ϑ_1, ϑ_2 – скорости снижения воды соответственно в верхнем и нижнем бьефе.

Разработанная методика позволяет решать задачи неустановившейся фильтрации в грунтовых плотинах без дренажа и с различными дренажами (дренажной призмой, трубчатым, наслонным дренажем и др.) с непроницаемым и проницаемым основаниями.



Результаты расчетов неустановившейся фильтрации

1 – начальная кривая депрессия при $t = 0$; 2 – положения депрессионной поверхности по методике Н.А. Анискина и М.Е. Мемарианфард [4] при $t = 8$ сут;
3 – положения депрессионной поверхности по МКР при $t = 8$ сут

Возможности разработанной методики неустановившейся фильтрации и оценка достоверности получаемых результатов иллюстрируются ниже на примере фильтрационных задач [3].

Рассматривается однородная земляная плотина с дренажной призмой в нижнем бьефе с непроницаемым основанием. Начальная глубина верхнего бьефа равна 22 м; заложение верхового откоса $m_1 = 3$; заложение низового откоса $m_2 = 3$. Соотношения коэффициентов фильтрации грунтов в горизонтальных и вертикальных направлениях $K_x/K_y = 4,0$, коэффициент водоотдачи грунта тела плотины $\mu = 0,1$; скорость сработки уровня воды в водохранилище 1,0 м/сут, уровень нижнего бьефа принимался неизменным и равным $H_2 = 3$ м.

Результаты расчетов неустановившейся фильтрации для однородной плотины с дренажной призмой с непроницаемым основанием

$X, \text{м}$	По МКР	По МКЭ	Отклонение, %
-24	14,00	14,00	0
-20	13,96	13,75	1,50
-10	13,50	13,00	3,70
0	12,70	12,20	3,94
10	11,94	11,50	3,68
20	11,40	11,00	3,50
30	10,30	10,00	2,91
40	8,00	7,90	1,25
52	3,40	3,50	-2,94

Результаты решения данной нестационарной задачи методом конечных разностей (МКР) и их сравнение с методом Н.А. Анискина и М.Е. Мемарианфард [4] представлены в таблице и на рисунке.

В заключение можно отметить, что предложенный численный метод

расчета нестационарной фильтрации грунтовых вод учитывает анизотропность грунтов в различных направлениях. Выполненные расчеты показали, что результаты, полученные с помощью МКР, достаточно хорошо качественно и количественно совпадают с результатами сравниваемых методов, что свидетельствует о достоверности численных расчетов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Самарский А.А. Теория разностных схем. М.: Наука, 1989.
2. Файзиев Х., Xожиев Т.К., Xажиев И.О. Об одном алгоритме и вычислительном эксперименте для одной задачи грунтовой плотины // Актуальные проблемы прикладной математики и информационных технологий: Тр. междунар. конф. Аль-Хорезми 2016, 9–10 нояб. 2016 г. Бухара, 2016. С. 47–49.
3. Ляхевич Р.А. Совершенствование методов фильтрационного расчета земляных плотин с учетом их анизотропной водопроницаемости: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Новочеркасск, 2006.
4. Анискин Н.А., Мемарифард М.Е. Нестационарная анизотропная фильтрация и ее влияние на устойчивость откосов грунтовой плотины // Вестн. МГСУ. 2011. № 5. С. 75–80.

Файзиев Хомитхон, канд. техн. наук, доц.; E-mail: Xomitxon@mail.ru

Ташкентский архитектурно-строительный институт, Узбекистан

Хожиев Тожи Койирович, ст. препод.; E-mail: tojiddin542011@mail.ru

Национальный университет, г. Ташкент, Узбекистан

Хажиев Икромжон Озодович, ст. препод.; E-mail: h.ikrom@mail.ru

Национальный университет, г. Ташкент, Узбекистан

Рахимов Шерзод, ст. препод.; E-mail: Sherzod88.ra @ mail.ru

Ташкентский архитектурно-строительный институт, Узбекистан

Получено после доработки 19.06.17

Fayziev Homithon, PhD, Ass. Professor; E-mail: Xomitxon@mail.ru

Tashkent Architecture and Construction Institute, Uzbekistan

Hozhiev Tozhi Koyirovich, Senior Lecturer; E-mail: tojiddin542011@mail.ru

National University, Tashkent, Uzbekistan

Hazhiev Ikromzhon Ozodovich, Senior Lecturer; E-mail:h.ikrom@mail.ru

National University, Tashkent, Uzbekistan

Rahimov Sherzod, Senior Lecturer; E-mail: Sherzod88.ra@mail.ru

Tashkent Architecture and Construction Institute, Uzbekistan

NUMERICAL SOLUTION OF UNSTEADY FILTRATION IN EARTH DAMS WITH CONSIDERING FILTRATION ANISOTROPICALLY GROUND FINITE DIFFERENCE METHOD

An algorithm for solving the problem of unsteady filtration in earth dams based on the anisotropy of the soil by finite difference method. Features developed methodology for calculating unsteady filtration program and evaluation of the reliability of the results illustrated by the example of filtration tasks.

Key words: groundwater dam, filtration, unsteady filtration, the rapid decline of the water level in the upstream, the rate of decline of the water level, the finite difference method, anisotropic filtering soil.

REFERENCES

1. S a m a r s k i y A.A. Teoriya raznostnykh skhem [Teoriya difference schemes]. Moscow, 1989. (in Russian)
 2. F a y z i e v H., H o z h i e v T.K., H a z h i e v I.O. Ob odnom algoritme i vychislitel'nom eksperimente dlya odnoy zadachi gruntovoy plotiny [An algorithm and thecomputational experiment for a subsurface dam problem]. Aktual'nye problemy prikladnoy matematiki i informatsionnykh tekhnologiy: trudy Mezhdunarodnoy konferentsii Al'-Khorezmi 2016, 9–10 noyabrya 2016 g. [Proceedings of the International Conference “Actual Problems of Applied Mathematics and Information Technology. Al-Khwarizmi 2016” on November 9-10, 2016]. Bukhara, 2016. Pp. 47–49. (in Russian)
 3. L y a k h e v i c h R.A. Sovrshenstvovanie metodov fil'tratsionnogo rascheta zemlyanykh plotin s uchetom ikh anizotropnoy vodopronitsaemosti: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Improving methods of filtration calculation earthen dams based on their anisotropic permeability: Abstract of dissertation for the degree of candidate of technical sciences]. Novocherkassk, 2006. (in Russian)
 4. A n i s k i n N.A., M e m a r i a n f a r d M.E. Nestatsionarnaya anizotropnaya fil'tratsiya i ee vliyanie na ustoychivost' otkosov gruntovoy plotiny [Non-stationary anisotropic filtration and its effect on soil slope stability of the dam]. Vestnik MGSU [MSUCE Bulletin]. 2011. No. 5. Pp. 75–80. (in Russian)
-

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

УДК 621.878.2 : 621.396

Ю.В. АВДЕЕВ, А.Д. КОНОНОВ, А.А. КОНОНОВ, Н.А. ВАРДАНЯН

РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ ФАЗОРАЗНОСТНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ГРУППОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Проведены исследования возможности применения фазовых разностно-дальномерных устройств для систем автоматического дистанционного управления движением комплекса строительных и дорожных машин, и разработан алгоритм определения дальности и угла до ведущей машины.

Ключевые слова: дистанционное управление, строительно-дорожные машины, навигационные системы, обработка сигналов, отслеживание траектории.

Важным направлением повышения эффективности использования дорожно-строительных машин (часто функционирующих в сложных производственных условиях) и безопасности жизнедеятельности операторов является развитие систем дистанционного управления [1, 2]. Для дистанционного радиоуправления [3] перемещением машин может быть использован навигационный метод [4], основанный на измерении текущих координат машин и сопровождении их движения по требуемым траекториям [5]. Разработка дистанционных систем управления строительной и дорожной техникой может быть предпосылкой к созданию нового уровня взаимодействия в системе «человек – машина – среда».

При автоматизации процесса дистанционного управления мобильными объектами, в частности, землеройно-транспортными машинами (ЗТМ) в дорожном строительстве [6] с помощью разностно-дальномерной системы необходимо выбрать такую траекторию движения, которая обеспечивала бы минимальные затраты времени на выполнение рабочего процесса и наименьшие погрешности при выполнении программы на специализированном вычислительном устройстве (СВУ) [7]. Указанные требования приобретают еще большую важность, когда речь идет не о движении отдельной машины, а об управлении функционированием комплекса технологических машин.

Разработки для управления движением группы строительных и дорожных машин (СДМ), работающих в одной протяженной рабочей зоне (строительство автомобильных дорог, взлетно-посадочных полос аэродромов, железнодорожных перегонов, прокладка трубопроводов и т.д.) и движущихся друг за другом, как правило, включают ведущие и ведомые машины с ориентиром в виде излучателя и воспринимающими элементами с устройствами преобразования

сигналов в координаты и автоматическим управлением соответствующими исполнительными механизмами (ИМ) на ведомых СДМ [8, 9].

Рассмотрим систему выработки команд управления, в которой на ведущей машине расположен излучатель – токонесущий провод, служащий ориентиром для ведомой машины, на которой расположен датчик, воспринимающий электромагнитное поле токонесущего излучателя. Сигналы с датчика электромагнитного поля с помощью фазоизмерительного устройства (ФИУ) [4] преобразуются в координаты ведомого мобильного объекта относительно ведущего. В свою очередь, каждая ведомая технологическая машина сама является ведущей для следующей ведомой, т.е. на ведомом объекте также имеется свой токонесущий антенный провод, служащий ориентиром для следующей ведомой СДМ, на которой также установлен датчик электромагнитного поля и устройства преобразования сигналов этого датчика в координаты данной машины относительно предыдущей и т.д.

Недостатком данной системы является относительно невысокая точность управления группой, содержащей большое количество СДМ, в связи с накоплением ошибок отклонения, так как в этой системе ошибки отслеживания траектории для каждой последующей технологической машины суммируются с ошибками отслеживания траектории предыдущих машин.

Повышение точности группового дистанционного управления СДМ может быть достигнуто тем, что в описываемой системе ориентир выполнен из двух взаимно перпендикулярных, соосно-расположенных горизонтальных диполей, подключаемых поочередно с помощью коммутатора к радиопередатчику, а воспринимающие элементы выполнены из идентичных радиоприемников, причем входы двух из них соединены с антенной, состоящей из пары взаимно перпендикулярных, соосно-расположенных горизонтальных диполей, и их выходы подключены к схеме деления амплитуд. Выход схемы деления соединен с преобразователем выходного напряжения в сигнал кор-

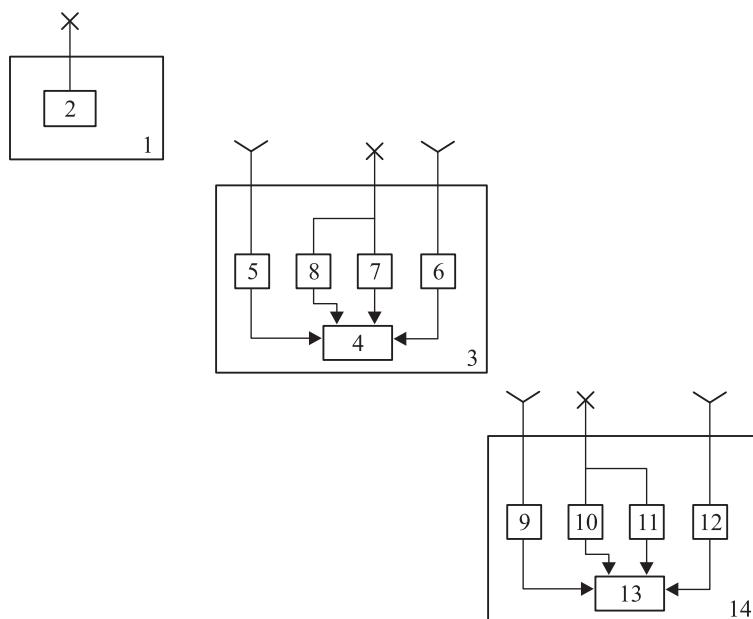


Рис. 1. Схема системы дистанционного управления движением комплекса строительно-дорожных машин

рекции по углу. Кроме того, выходы этих же приемников через сумматор и выходы двух других приемников с всенаправленными антеннами подключены к устройству определения дальности.

На рис. 1 изображена схема системы дистанционного управления комплексом СДМ. Система для управления движением группы СДМ включает ведущую машину 1 с радиопередатчиком координатомерной системы 2, ведомые машины 3, 14, радиоприемники с антеннами, состоящими из взаимно перпендикулярных, соосно-расположенных горизонтальных диполей 7, 8, 10, 11, радиоприемники с всенаправленными антеннами 5, 6, 9, 12, устройства преобразования выходных сигналов в координаты 4, 13.

Функциональная часть излучателя (рис. 2, а) состоит из радиопередатчика 15, коммутатора 16, электронных ключей 17, 18.

Функциональная схема воспринимающих элементов с устройствами преобразования принимаемых сигналов в координаты ведомой машины (рис. 2, б) содержит радиоприемники 19–22 с идентичными амплитудными и фазочастотными характеристиками, схему деления амплитуд 23, суммирующее устройство 24, смесители 25–27, гетеродин 28, узкополосные фильтры 29–31, фазоизмерительное устройство 32, преобразователь сигналов ФИУ в текущие координаты ведомой машины 33.

Система работает следующим образом. Выходной сигнал радиопередатчика 15, несущая частота которого 112,5 МГц, а модулирующая 4 МГц, коммутируется ключами 17, 18, управляемыми от коммутатора 16, и излучается одним из взаимно ортогональных, соосно-расположенных горизонтальных диполей.

Сигнал, излучаемый антенной передатчика, принимается антеннами радиоприемников 19–22, установленными на ведомых СДМ 3, 14. На входы приемных элементов 20, 21 подано напряжение с двух взаимно перпендику-

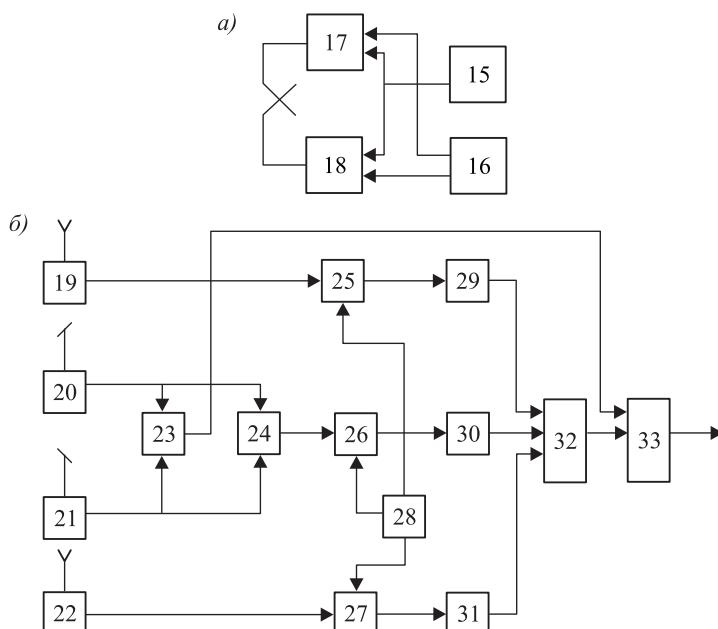


Рис. 2. Схема излучателя (а) ведущей машины и приемника (б) ведомой машины команд автоматического дистанционного управления движением СДМ

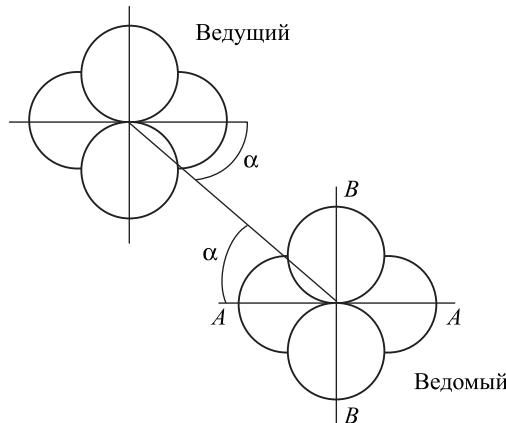


Рис. 3. Диаграммы направленности антенн передатчика и приемника

лярных, соосно-расположенных горизонтальных диполей, причем один диполь установлен параллельно курсу ведомой машины, другой перпендикулярно ему: тем самым и на передающем, и на приемном конце системы связи образуются направленные антенны для устройства измерения угла. При этом для каждого угла α диаграмм направленности в связке «ведущий – ведомый» (рис. 3) существует свое соотношение амплитуд сигналов, принимаемых антеннами приемников 20 и 21.

Сигналы с их выходов поступают на схему деления амплитуд 23. Если соотношение амплитуд, связанное с углом α , отличается от заданного значения, то выдается сигнал коррекции, поступающий в преобразователь 33 сигналов ФИУ в текущие координаты ведомой СДМ относительно ведущей. Выходные сигналы радиоприемников 20, 21 поступают и на суммирующее устройство 24. При этом суммарная диаграмма направленности в горизонтальной плоскости антенн приемников 20, 21 близка по форме к круговой, а характеристики приемника, полученного из двух приемников 20, 21 путем суммирования их сигналов, будут подобны характеристикам приемников 19, 22, которые работают с всенаправленными антеннами горизонтальной поляризации, с выхода которых выделяются сигналы с частотой 4 МГц.

Для повышения точности определения координат измерение разности фаз производится на частоте 50 кГц, что достигается гетеродинным преобразованием, которое реализуется смесителями 25–27, кварцевым генератором 28, узкополосными фильтрами 29–31 с частотой настройки 50 кГц. С выходов фильтров сигналы поступают на фазометрический блок дискретного типа 32, выход которого связан со входом СВУ 33 преобразования сигналов фазоизмерительного устройства в текущие координаты ведомой машины относительно ведущей. Выработанные СВУ выходные сигналы управляют соответствующими исполнительными механизмами технологических машин.

Предлагаемые к использованию в качестве преобразователя выходных сигналов фазоизмерительное устройство и специализированное вычислительное устройство [10] позволяют перемещать ведомую СДМ по произвольной заданной траектории с необходимой точностью.

В качестве примера рассмотрим алгоритм определения дальности и азимутального угла сопровождения СДМ. Для определения координат ведомой машины относительно ведущей достаточно измерить

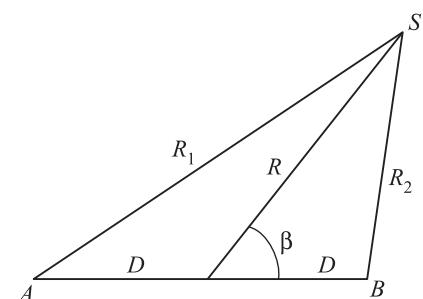


Рис. 4. Схема для расчета дальности и азимутального угла в связке «ведущий – ведомый»

две разности расстояний $R_1 - R$ и $R_2 - R$ (рис. 4), каждая из которых характеризует линию положения. Геометрическим местом точек, разность расстояний которых до двух заданных позиций есть величина постоянная, является гипербола, т.е. линии положения в данном случае – это гиперболы с фокусами в точках приема. Местоположение источника излучения (антенны передатчика, установленного на ведущей машине) определяется точкой пересечения гипербол.

На ведомой машине антенны воспринимающих элементов удобнее располагать по одной прямой. Для этой ситуации дальность до источника излучения R из геометрических соображений определяется по формуле

$$R = \frac{2D^2 + \Delta R_1^2 - \Delta R_2^2}{2(\Delta R_1 + \Delta R_2)}, \quad (1)$$

где $\Delta R_1 = R_1 - R$ и $\Delta R_2 = R_2 - R$ – разности расстояний между источниками излучения и соответствующей точкой приема;

$2D$ – расстояние (база) между антеннами.

Азимут источника

$$\cos\beta = \frac{\Delta R_1(D^2 - \Delta R_2^2) - \Delta R_2(D^2 - \Delta R_1^2)}{D(2D^2 + \Delta R_1^2 - \Delta R_2^2)}. \quad (2)$$

То есть для вычисления координат необходимо определить ΔR_1 и ΔR_2 :

$$\begin{aligned} \Delta R_1 &= (a_{\text{изм}} - a_0)m_T, \\ \Delta R_2 &= (b_{\text{изм}} - b_0)m_T, \end{aligned} \quad (3)$$

где $a_{\text{изм}}, b_{\text{изм}}$ – измеренные разности фаз между сигналами крайних и среднего приемников;

a_0, b_0 – постоянные составляющие фазовых набегов;

m_T – масштабный коэффициент

$$m_T = \frac{\lambda}{T_{\text{пр}}K_T N_T}, \quad (4)$$

где λ – длина волны модулирующего сигнала;

$T_{\text{пр}}$ – период следования импульсов после гетеродинного преобразования;

K_T – коэффициент перевода $T_{\text{пр}}$ в единицы измерения фазометра;

N_T – число усреднений фазометра.

Таким образом, с выхода ФИУ информация об измеренных значениях соответствующих разностей фаз $a_{\text{изм}}, b_{\text{изм}}$ поступает на вход СВУ, реализующего соответствующую систему команд [10].

Перед началом работы программа, записанная на языке символьического кодирования, загружается в оперативную память СВУ, а также вводятся конкретные значения всех необходимых констант D, m_T, a_0, b_0 , которые должны быть получены до работы по программе в результате сравнения истинных координат управляемого объекта и данных измерений. Далее по измеренным значениям $a_{\text{изм}}, b_{\text{изм}}$ в СВУ вычисляются $\Delta R_1, \Delta R_2$, а затем определяется местоположение любой ведомой машины из группы для выработки команд управления.

Применение описанной выше системы (функциональная схема представлена на рис. 1, 2) позволит обеспечить повышение точности управления

группой СДМ за счет того, что максимальная ошибка отслеживания траектории для каждой технологической машины не зависит от ошибки отслеживания предыдущих машин и является величиной постоянной для всего комплекса СДМ.

Проведенные исследования имеют практическое значение и могут быть полезны разработчикам систем автоматического дистанционного управления технологическими машинами дорожно-строительного комплекса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Устинов Ю.Ф., Тепляков И.М., Авдеев Ю.В., Кононов А.А. Проблема построения систем дистанционного управления землеройно-транспортными машинами // Изв. вузов. Строительство. 2006. № 1. С. 83–86.
2. Авдеев Ю.В., Кононов А.Д., Кононов А.А. Анализ принципов дистанционного адаптивного управления землеройно-транспортными машинами // Изв. вузов. Строительство. 2012. № 9. С. 41–46.
3. Устинов Ю.Ф., Тепляков И.М., Авдеев Ю.В., Кононов А.А. Основные концептуальные принципы автоматизации и дистанционного управления землеройно-транспортными машинами // Изв. вузов. Строительство. 2005. № 6. С. 65–67.
4. Авдеев Ю.В., Кононов А.Д., Кононов А.А., Варданян Н.А. Сравнительный анализ фазовых методов определения координат в задачах дистанционного автоматического управления машинами дорожно-строительного комплекса // Изв. вузов. Строительство. 2014. № 1. С. 86–93.
5. Кононов А.Д., Авдеев Ю.В., Кононов А.А. Алгоритм обработки сигналов датчиков системы следящего дистанционного управления землеройно-транспортными машинами // Изв. вузов. Строительство. 2009. № 3–4. С. 95–99.
6. Кононов А.А. Развитие научных основ повышения эффективности управления рабочими процессами землеройно-транспортных машин: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Воронеж, 2007.
7. Авдеев Ю.В., Кононов А.Д., Кононов А.А., Варданян Н.А. Метод компенсации погрешностей измерения координат при автоматическом дистанционном управлении машинами дорожно-строительного комплекса // Изв. вузов. Строительство. 2014. № 8. С. 75–80.
8. Устинов Ю.Ф., Кононов А.Д., Кононов А.А., Иванов С.А. Повышение эффективности процесса разработки грунта косопоставленным отвалом землеройно-транспортной машины // Изв. вузов. Строительство. 2008. № 1. С. 69–72.
9. Кононов А.А. Разработка системы автоматического управления рабочим органом землеройно-транспортной машины: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 1998.
10. Авдеев Ю.В., Кононов А.Д., Кононов А.А., Варданян Н.А. К вопросу согласования работы информационных систем при автоматическом дистанционном управлении машинами дорожно-строительного комплекса // Изв. вузов. Строительство. 2016. № 7. С. 75–82.

Авдеев Юрий Валентинович, канд. техн. наук, доц.

Воронежский государственный технический университет

Кононов Александр Давыдович, канд. физ.-мат. наук, доц.

Воронежский государственный технический университет

Кононов Андрей Александрович, д-р техн. наук; E-mail: kniga16@mail.ru

Воронежский государственный технический университет

Варданян Нара Артшесовна, асп.

Воронежский государственный технический университет

Получено 30.06.17

Avdeev Yuriy Valentinovich, PhD, Ass. Professor

Voronezh State Technical University, Russia

Kononov Alexandre Davydovich, PhD, Ass. Professor

Voronezh State Technical University, Russia

Kononov Andrey Alexandrovich, DSc; E-mail: kniga16@mail.ru

Voronezh State Technical University, Russia

Vardanyan Nara Artashesovna, Post-graduate Student

Voronezh State Technical University, Russia

**DEVELOPMENT OF A FUNCTIONAL DIAGRAM
OF THE SYSTEM, MEASURING A DIFFERENCE IN PHASE,
OF AUTOMATIC REMOTE CONTROL BY GROUP
OF TECHNOLOGICAL MACHINES OF ROAD-BUILDING COMPLEX**

The researches of feasibility of phase difference ranging devices for systems of automatic remote control by driving of a complex of building and road machines are held, and the algorithm of finding range and corner to the carrying machine is designed.

К e y w o r d s: remote control, road-building machines, navigators, signal processing, watching of a trajectory.

REFERENCES

1. Ustinov Yu.F., Teplyakov I.M., Avdeev Yu.V., Kononov A.A. Problema postroeniya sistem distantsionnogo upravleniya zemleroyno-transportnymi mashinami [Problem of build-up of remote control systems of autograders, scrapers and bulldozers]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2006. No. 1. Pp. 83–86. (in Russian)
2. Avdeev Yu.V., Kononov A.D., Kononov A.A. Analiz printsipov distantsionnogo adaptivnogo upravleniya zemleroyno-transportnymi mashinami [The analysis of principles of a remote adaptive technique by motorgraders, scrapers and bulldozers]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2012. No. 9. Pp. 41–46. (in Russian)
3. Ustinov Yu.F., Teplyakov I.M., Avdeev Yu.V., Kononov A.A. Osnovnye kontseptual'nye printsipy avtomatizatsii i distantsionnogo upravleniya zemleroyno-transportnymi mashinami [Main conceptual principles of automation and remote control of autograders, scrapers and bulldozers]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2005. No. 6. Pp. 65–67. (in Russian)
4. Avdeev Yu.V., Kononov A.D., Kononov A.A., Vardanyan N.A. Sravnitel'nyy analiz fazovykh metodov opredeleniya koordinat v zadachakh distantsionnogo avtomaticheskogo upravleniya mashinami dorozhno-stroitel'nogo kompleksa [The comparative analysis of phase methods of a coordinates setting in problems of remote automatic control of machines of a road-building complex]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2014. No. 1. Pp. 86–93. (in Russian)
5. Kononov A.D., Avdeev Yu.V., Kononov A.A. Algoritm obrabotki signalov datchikov sistemy sledyashchego distantsionnogo upravleniya zemleroyno-transportnymi mashinami [The algorithm of processing of signals of transmitters of the system of a tracking distance control of autograders, scrapers and bulldozers]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2009. No. 3–4. Pp. 95–99. (in Russian)

6. Kononov A.A. Razvitie nauchnykh osnov povysheniya effektivnosti upravleniya rabochimi protsessami zemleroyno-transportnykh mashin: avtoref. dis. ... d-ra tekhn. nauk [Development of scientific bases of heightening of efficiency of management by working processes of autograders, scrapers and bulldozers: autor. diss. ... DSc]. Voronezh, 2007. (in Russian)
 7. Avdeev Yu.V., Kononov A.D., Kononov A.A., Vardanyan N.A. Metod kompensatsii pogreshnostey izmereniya koordinat pri avtomaticheskom distantsionnom upravlenii mashinami dorozhno-stroitel'nogo kompleksa [The Method of compensation of measuring errors of coordinates at the automatic remote control of autograders, scrapers and bulldozers]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2014. No. 8. Pp. 75–80. (in Russian)
 8. Ustinov Yu.F., Kononov A.D., Kononov A.A., Ivanov S.A. Povyshenie effektivnosti protsessa razrabotki grunta kosopostavlennym otvalom zemleroyno-transportnoy mashiny [Heightening of efficiency of ground processing by obliquely positioned dump of autograders, scrapers and bulldozers]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2008. No. 1. Pp. 69–72. (in Russian)
 9. Kononov A.A. Razrabotka sistemy avtomaticheskogo upravleniya rabochim organom zemleroyno-transportnoy mashiny: avtoref. dis. ...kand. tekhn. nauk [Development of system of automatic control of the end-effector of an autograder, a scraper or a bulldozer: autor. diss. ... PhD]. Voronezh, 1998. (in Russian)
 10. Avdeev Yu.V., Kononov A.D., Kononov A.A., Vardanyan N.A. K voprosu soglasovaniya raboty informatsionnykh system pri avtomaticheskom distantsionnom upravlenii mashinami dorozhno-stroitel'nogo kompleksa [To the problem of coordination of operation of information systems at automatic remote control by machines of road-building complex]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2016. No. 7. Pp. 75–82. (in Russian)
-

НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ, ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКОЛОГИИ

УДК 728.71(571.651):697.112

А.В. МОЛОДИН

К ВОПРОСУ КОМФОРТНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАДИЦИОННОГО ЧУКОТСКОГО ЖИЛИЩА В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА¹

Часть 2

Приводится описание особенностей строительного опыта и системы отопления коренных народов Чукотского автономного округа. Описываются конструктивные и объемно-пространственные характеристики переносных каркасных сооружений (яранга). Уделяется внимание организации внутреннего пространства жилища и традициям ее эксплуатации. Раскрываются принципы отопления и создания благоприятных климатических условий внутри жилища. Приводятся результаты лабораторных исследований теплозащитного сопротивления ограждающих конструкций яранги и экспериментальных исследований внутренней температуры воздуха в условиях нормальной эксплуатации сооружения. На основе полученных экспериментальных данных проводится теоретический расчет теплопотерь сооружения, который доказывает энергетическую эффективность двухступенчатой системы отопления яранги. Автор предлагает использовать подобную схему в практике проектирования современных жилых поселков промышленников Крайнего Севера.

Ключевые слова: яранга, архитектура, каркасные сооружения, переносные сооружения, температура.

5. Динамика суточного изменения наружной и внутренней температуры воздуха в условиях нормальной эксплуатации: натурные исследования

5.1. Описание методологии исследования. Экспериментальное исследование внутренней температуры проводилось в натурных условиях, максимально приближенных к традиционным эксплуатационным климатическим и географическим характеристикам (табл. 2). Для эксперимента была выбрана эксплуатируемая семья из четырех человек в обычных условиях яранга общей площадью 91,5 м², расположенная в 22 км восточнее г. Певек (административный центр Чаунского района Чукотского автономного округа). Общая площадь ограждающих конструкций составила 208,5 м². Эксперимент проводился с декабря 2013 по март 2014 г.

5.2. Оборудование. Для определения экспериментальных температурных характеристик яранги были использованы восемь термодатчиков, имеющих

¹ См.: Молодин А.В. К вопросу комфорtnых температурных условий эксплуатации традиционного чукотского жилища в условиях Крайнего Севера. Часть 1 // Изв. вузов. Строительство. 2017. № 6. С. 60–71.

Таблица 2. Температурные характеристики района проведения эксперимента, °C

Показатель	Янв.	Февр.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сент.	Окт.	Нояб.	Дек.	Год.
Абсолютный максимум	8,9	5,6	5,8	7,6	16,1	27,0	29,2	25,7	20,3	8,1	8,7	8,9	29,2
Средний максимум	-24,6	-24,8	-18,8	-12,1	0,5	8,4	11,4	10,1	4,5	-4,4	-14,6	-20,5	-7,1
Средняя температура	-26,9	-27,5	-22,2	-15,2	-1,8	5,4	8,7	8,1	3,0	-6,0	-16,7	-22,9	-9,5
Средний минимум	-29,3	-30,0	-25,5	-18,7	-4,4	2,4	6,0	6,0	1,3	-7,7	-19,0	-25,3	-12,0
Абсолютный минимум	-45,0	-50,0	-43,3	-40,0	-30,0	-9,1	-2,2	-4,6	-12,7	-29,3	-39,0	-41,1	-50,0

диапазон работы от -50 до + 50 °C с точностью $\pm 0,09$ °C. Датчики имели возможность подключения к персональному компьютеру для записи результатов изменения. Период снятия температурных показаний приборов составил 30 мин. Датчики были расположены по два для каждой зоны измерения, удаленные друг от друга: снаружи сооружения на высоте 0,3 м от уровня снежного покрова, внутри яранги на высоте 0,3 и 3,5 м от пола; внутри полога на высоте 1,2 м.

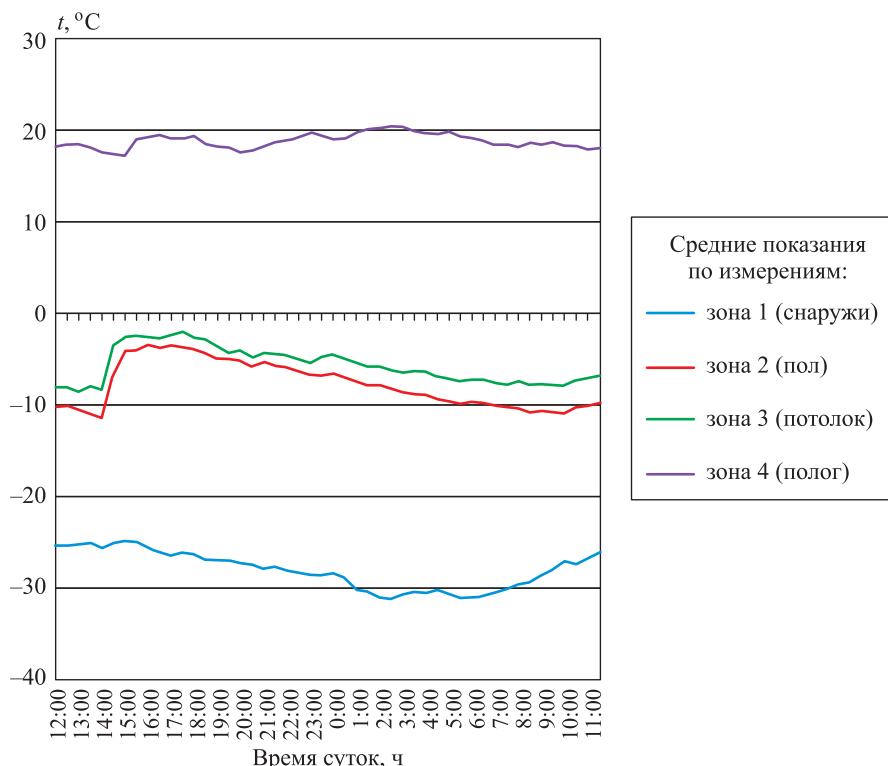


Рис. 4. Сводные суточные результаты изменения температур наружного и внутреннего воздуха яранги

Данные были записаны шестью непрерывными периодами по три дня с 8 по 11 декабря (1-й период), с 22 по 25 декабря (2-й период), с 11 по 14 января (3-й период), с 30 января по 2 февраля (4-й период), с 18 по 21 февраля (5-й период), с 10 по 13 марта (6-й период).

5.3. Результаты исследования. Сводные результаты изменения температуры представлены на рис. 4.

Средняя температура наружного воздуха за шесть периодов измерения составила $-28,6^{\circ}\text{C}$, что оказалось на 4°C ниже нормы. Средняя внутренняя температура основного объема яранги (*чоттагина*) $-7,0^{\circ}\text{C}$, при этом температура внутреннего воздуха полога была комфортной для эксплуатации $+19,2^{\circ}\text{C}$, ее колебания не превышали $\pm 1,1^{\circ}\text{C}$.

Резкое увеличение температуры воздуха внутри основного объема яранги в промежуток с 13 до 15 ч связано с эксплуатационными факторами – разжигание очага и приготовление пищи. Относительно постоянная температура воздуха внутри полога вызвана постоянным функционированием жаровой лампы с кратковременными погасаниями. Следует отметить, что температура наружного воздуха оказывала влияние на температуру внутреннего воздуха *чоттагина* незначительно. Связь колебаний температуры наружного и внутреннего воздуха полога не наблюдается. Обитатели яранги (4 человека) в ночное время находились внутри полога, что влияло на общее колебание температуры в положительную сторону. Общая средняя разница между показаниями температуры внутри полога и наружного воздуха – $\Delta 47,8^{\circ}\text{C}$.

На рис. 5 показан температурный разрез яранги исходя из средних показаний измерений приборов с обозначением месторасположения датчиков.

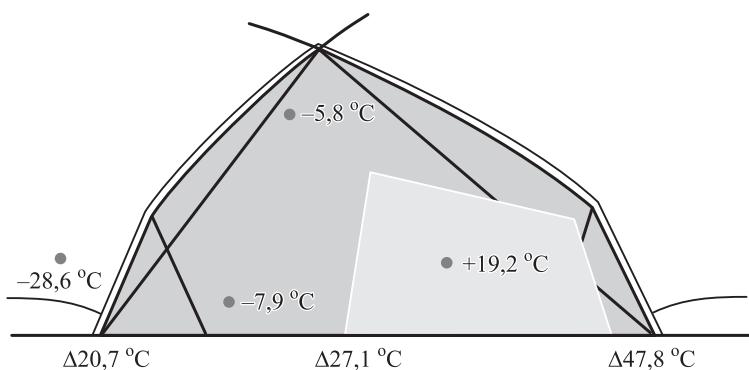


Рис. 5. Температурный разрез яранги

6. Теоретический расчет теплопотерь сооружения

6.1. Методология исследования. Экспериментальные лабораторные и натурные исследования позволили просчитать теоретическую теплотехническую модель яранги и определить теплопотери наружными и внутренними ограждающими конструкциями. Характеристики температуры наружного и внутреннего воздуха, а также теплотехнические характеристики материалов были заимствованы из экспериментальных исследований, результаты которых описаны выше.

6.2. Определение коэффициента теплопередачи ограждающих конструкций. Коэффициент теплопередачи k (Вт/м² · °С) ограждающих конструкций был просчитан по формуле

$$k = \frac{1}{R}. \quad (2)$$

Для разных стен яранги коэффициент теплопередачи составил:

- 1) для наружной двухслойной покрышки основного объема яранги $k = 1/1,56 = 0,64$ Вт/м² · °С;
- 2) внутренней однослойной покрышки полога $k = 1/1,67 = 0,60$ Вт/м² · °С;
- 3) застеленного в один слой оленьими шкурами пола яранги $k = 1/0,78 = 1,28$ Вт/м² · °С.

6.3. Расчет основных теплопотерь сооружения. Основные теплопотери вычислялись по формуле

$$Q = kA\Delta t, \quad (3)$$

где k – коэффициент теплопередачи, Вт/м² · °С;

Δt – разность температуры наружного и внутреннего воздуха, °С;

A – площадь ограждения, м².

В расчете также применялись дополнительные поправочные коэффициенты с учетом ориентации наружных ограждений по сторонам света и по отношению к земле.

Сумма полных теплопотерь яранги ΣQ (Вт) является разницей основных теплопотерь через ограждающие конструкции и бытовых тепловыделений. В табл. 3 приведены результаты теоретического расчета сооружения по первому и второму тепловому контуру.

Исходя из проведенных расчетов, теплопотери сооружения составили чуть более 5700 Вт.

С учетом почти постоянного нахождения семьи из четырех человек внутри яранги и нормальной ее эксплуатации бытовые тепловыделения приняты 200 Вт/чел., что в общем составило 800 Вт. Таким образом, общие теплопотери яранги с учетом бытовых тепловыделений могут достигать 4900–5000 Вт.

Для отопления жилища используются сухие деревянные дрова, которые при сгорании выделяют 3–3,5 кВт · ч/кг тепловой энергии и жировую лампу ээк, которая выделяет до 300 Вт тепловой энергии.

Таким образом, теоретически установлено, что для второго теплового контура (*иоронга*) потребность в энергоресурсах на отопление составляет чуть более 15 % от общего потребления, что почти компенсируется бытовыми тепловыделениями и небольшой жировой лампой ээк. Внутренняя температура воздуха при этом комфортна для долговременной эксплуатации помещения.

Отопление же первого контура (*чоттагина*) требует большего количества тепла, однако 5–8 кг сгораемой сухой древесины в качестве очага для приготовления пищи компенсирует теплопотери наружного ограждения и поддерживает температуру внутри помещения комфортной для кратковременной эксплуатации.

Таблица 3. Ведомость расчета теплопотерь контуров отопления яранги

Контур	Ограждение	Площадь ограждения $A, \text{м}^2$	Расчетная разность температуры $\Delta t, ^\circ\text{C}$	Коэффициент теплопередачи ограждения $k, \text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$	Дополнительные теплопотери с учетом ориентации сооружения β	Основные теплопотери $Q, \text{Вт}$
Первый контур – чоттагина	Торцевая западная сторона	33,60	20,7	0,64	1,05	467,39
	Боковая северная сторона	35,10		0,64	1,10	511,51
	Боковая южная сторона	40,60		0,64	1,00	537,87
	Торцевая восточная сторона	41,00		0,64	1,10	597,48
	Покрытие	45,00		0,64	1,00	596,16
	Пол	91,50		1,28	0,90	2181,95
Итого		286,80			Итого	4892,35
Второй контур – иоронга	Торцевая сторона	3,75	27,1	0,60	1,00	60,975
	Торцевая сторона	6,60		0,60	1,00	107,316
	Боковая сторона	4,13		0,60	1,00	67,0725
	Боковая сторона	4,25		0,60	1,00	69,105
	Покрытие	12,00		0,60	1,00	195,12
	Пол	10,00		1,28	0,9	312,192
Итого		40,73			Итого	811,78
					Всего	5704,13

Заключение и продолжение исследований. Благодаря простой конструкции, использование подручных и в то же время эффективных строительных материалов сделало ярангу наиболее распространенным жилым сооружением у чукчей в условиях Крайнего Севера.

Каркас яранги собирается из деревянных шестов. В качестве покрышек используются шкуры оленей. Вечная мерзлота не позволяла строить землянки и полуземлянки, а преимущественно кочевой образ жизни племен вынуждал легко демонтировать, перевозить и быстро возводить жилые сооружения.

Яранга хорошо приспособлена к выживанию людей в экстремальных температурных условиях из-за использования двухконтурной системы отопления. Такая система отопления жилища показала себя как эффективная технология, позволяющая экономить энергоресурсы, одновременно поддерживая комфортную для эксплуатации температуру внутри помещений в экстремально низких температурных условиях эксплуатации. Яранга состоит из небольшого полога (*иоронга*) объемом в 60–75 м³, окруженного большей оболочкой (*чоттагина*) – 450–500 м³.

Внутри внешней оболочки поддерживается температура –5...–8 °С, что при отсутствии дымового (вентиляционного) отверстия и общих теплопоте-

рях ограждающими покрышками из оленевых шкур в 4900 Вт эффективно компенсирует кратковременное сжигание 5–8 кг сухих дров в сутки. Накопленные под куполом горячие продукты сгорания древесины предотвращают быстрое снижение температуры внутри чоттагина. Вентиляция внутреннего пространства купола происходит естественным путем миграции воздуха через шкуру покрышки, щелей в покрытии и кратковременном открывании входного отверстия. Средний перепад температур наружного и внутреннего воздуха первого контура составляет 20,7 °C. Второй тепловой контур имеет внутреннюю среднюю температуру +19,2 °C, что является комфортной для долговременной эксплуатации сооружения. Небольшой объем полога и как следствие небольшая площадь ограждения позволяет снизить теплопотери второго контура до 811 Вт, что компенсируется бытовыми тепловыделениями и небольшой жировой лампой, работающей внутри полога. Средний перепад между температурой воздуха обоих контуров составляет 27,1 °C, общий же перепад между температурой наружного воздуха и температурой воздуха внутри полога – 47,8 °C.

Описанный в статье метод эффективной организации пространства для энергосбережения в условиях эксплуатации зданий при экстремально низкой температуре может быть применен в современных постройках Крайнего Севера. Опыт коренных народов Чукотки может отразиться как в объемно-пространственных решениях проектируемых сооружений в целом, так и в отдельных их элементах. Например, известно, что наибольшие теплопотери в здании несут элементы остекления (окна, витражи и т.п.), а отопление пространства между стеклами поможет значительно снизить потери тепла всего здания в целом.

В статье не ставились задачи разработки и апробировании полученных результатов в практике современного проектирования. Это направление исследований может стать продолжением настоящей работы. Помимо этого, изучение опыта энергосбережения других народов, проживающих в районах с экстремальным климатом, например, якутов Сибири или алеутов Аляски, может дать дополнительные научные результаты.

Молодин Александр Владимирович, канд. архитектуры, доц.;
E-mail: avmolodin@gmail.com
Университет Джорджа Вашингтона, Колумбийский колледж искусств и наук, США

Получено 15.05.17

Molodin Alexander Vladimirovich, PhD, Ass. Professor; E-mail: avmolodin@gmail.com
The George Washington University, Columbian College of Arts & Sciences, USA

TO THE ISSUE OF COMFORT TEMPERATURE CONDITIONS IN TRADITIONAL CHUKOTKA'S HOUSES IN FAR NORTH REGIONS

Part 2

The article gives a description of the typical features of construction experience and the system of heating for the indigenous people of the Chukotka Administrative District, Russia. Construction and dimensional-spatial characteristics of portable framework

structures (yarangas) are described. Attention is given to the organization of the indoor space of the dwelling and traditional use of the space. The article describes the principles of heating and creating favorable climatic conditions inside the dwelling. The author gives the results of laboratory tests of the thermal shield resistance of insulation walling of a yaranga and the results of experimental studies on the indoor temperature of the air in the conditions of normal use of the structure. Based on the experimental data received, a theoretical calculation of heat losses of the structure is performed that proves the energy effectiveness of the two-step system of heating of a yaranga, suggesting using a similar scheme in the practice of designing modern residential settlements of the Far North.

К e y w o r d s: yaranga, architecture, frame construction, portable buildings, temperature.

УДК 711.4–112

Э.В. САЗОНОВ, В.В. СМОЛЬЯНИНОВ

ТЕРРИТОРИАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ПРИГОРОДНЫХ ЗОН (ГРАДОСТРОИТЕЛЬНО-ПРАВОВОЙ АСПЕКТ)

Приводится краткий исторический обзор появления, становления и последующего развития проектных работ по планировке пригородных зон в СССР. Устанавливается, что в 1970–1980-х гг. выработалась отлаженная система по их поэтапной организации, в которой функционально-планировочное устройство пригородных территорий находилось на стыке районной планировки и градостроительного планирования городов. Анализ сложившейся на сегодня практики подготовки генеральных планов и действующего федерального законодательства выявил отсутствие пригородной зоны как самостоятельного объекта градостроительной деятельности. Данное обстоятельство противоречит современной теории градостроительства и наблюдаемому на практике ходу урбанизации в постсоветской России. Авторами статьи предлагается ввести ряд новелл в Градостроительный кодекс РФ в целях совершенствования правового обеспечения территориального планирования пригородных зон.

Ключевые слова: пригородная зона, правовое обеспечение территориально-го планирования, Градостроительный кодекс, районная планировка, генеральный план.

Пригородные зоны (субурбии) как явление и обособленный объект материального мира изучаются представителями широкого спектра научных направлений и дисциплин. В нашей стране только за последние пять лет опубликованные по данной тематике исследования были подготовлены учеными-землеустроителями [1, 2], экономико-географами [3, 4], экономистами [5], правоведами [6, 7], социологами [8, 9], градостроителями [10] и другими специалистами как сугубо отраслевой, так и междисциплинарной принадлежности. Это свидетельствует о большом научном интересе к феномену субурбий и актуальности их дальнейшего изучения.

Пригородные зоны представляют собой «...территории, прилегающие к городам и находящиеся с ними в тесной функциональной, культурно-бытовой и другой взаимосвязи» [11, с. 966]. Опоясывая образующие их города, подобные зоны служат территориальным резервом для нового жилищного строительства, рекреации, размещения производства, инженерной инфраструктуры и коммунальных предприятий. Однако они не обладают каким-либо правовым статусом, поскольку действующий Градостроительный кодекс РФ (ГрК РФ) «...полностью игнорирует такие важные объекты исследования и регулирования, как системы расселения, городские агломерации, пригородные зоны» [12, с. 29–30].

Рассматривать город изолировано вне системы с прилегающей территорией – грубейшая градостроительная ошибка. Тем не менее ее широкое распространение в утвержденных документах территориального планирования

муниципальных образований обуславливается как невнятностью федерального законодательства по данному вопросу, так и сложившейся сейчас практикой проектирования. Изыскания и последующие решения, закладываемые в генеральных планах городских округов и поселений, в основном строго замыкаются в их административных границах, не учитывая происходящие в соседних муниципалитетах расселенческие и социально-экономические процессы. Поэтому цель настоящей статьи – выработать в рамках территориального планирования конкретные предложения юридического характера, взаимоувязывающие градостроительное развитие города и его пригородной зоны.

Следует отметить, что идеи совместного развития города и смежных пригородных территорий возникли в отечественном архитектурном сообществе еще в 1920-х гг. на фоне нэповской либерализации общественно-политической жизни, нашедшей свое отражение в том числе в широком профессиональном дискурсе урбанистов и дезурбанистов, и появления за рубежом первых проектов по районной планировке. В советской России пионерной работой в этой области по праву числится схема организации территории Москвы и прилегающего к ней района (1918 г.) архитектора Б.В. Сакулина, «...в которой он уже тогда предлагал создать крупную городскую агломерацию с городами-спутниками, опоясывающими Москву тремя кольцами» [13, с. 123]. Б.В. Сакулин также считал необходимым предоставление городу в целях его рационального переустройства права строительной юрисдикции на примыкающий к нему земельный фонд [14].

Взятый курс на индустриализацию и коллективизацию в 1930-х гг. определило преломил взгляды властей и на пригородную зону, которая стала восприниматься в значительной степени в качестве сельскохозяйственной базы для обеспечения населения города своей продукцией. В проектной документации того времени появляются положения об установлении специализации пригородных колхозов и совхозов, расположении машинно-тракторных станций в соответствующих населенных пунктах и т.п.

В целом к 1950-м гг. в советской градостроительной науке был достигнут консенсус о необходимости и обязательности проведения архитектурно-планировочных мероприятий по организации пригородных зон. Это совпало с началом их массового освоения под дачное строительство, коллективное садоводство и огородничество, санкционированного постановлениями Совмина СССР от 24.02.1949 № 807 «О коллективном и индивидуальном огородничестве и садоводстве рабочих и служащих» и от 20.03.1958 № 320 «О жилищно-строительной и дачно-строительной коопeraçãoции». К тому же руководство страны в целях обеспечения населения жильем инициировало задачу, лично обозначенную Н.С. Хрущевым на XX съезде КПСС (1956 г.) и Третьем Всесоюзном совещании по строительству (1958 г.), по созданию сети благоустроенных городов-спутников вокруг крупных центров расселения.

Окончательное признание пригородной зоны как неотъемлемого объекта градостроительного проектирования произошло с выходом СН 41-58 «Правила и нормы планировки и застройки городов» (утв. Госстроем

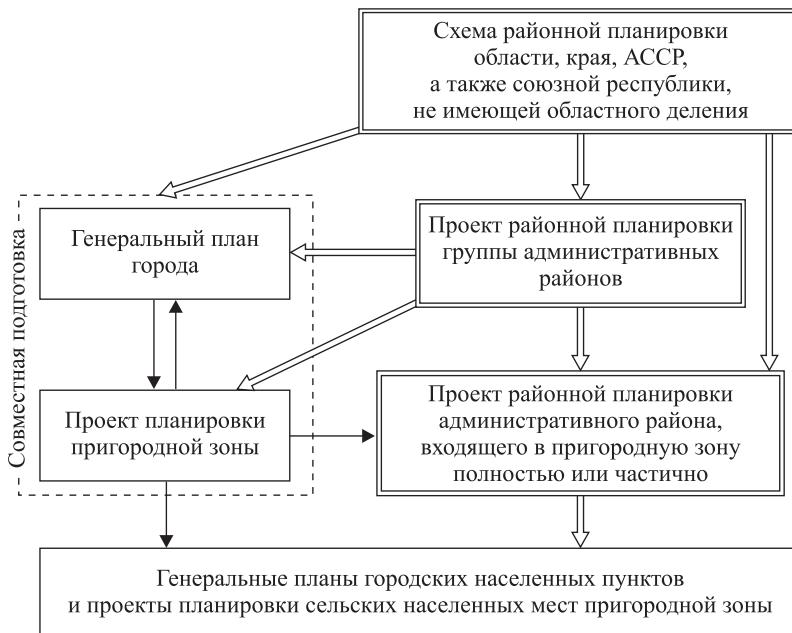
СССР 01.12.1958), в которых также закреплялась ее полифункциональность. Назначение пригородных территорий не исчерпывалось только обслуживанием хозяйственных и продовольственных нужд опорного города. В п. 69 СН 41–58 отдельно оговаривалась их средостабилизирующая роль по улучшению городского микроклимата, санации воздушного бассейна и обеспечению населения удобными, здоровыми и живописными загородными местами массового отдыха. Кроме того, вокруг больших и крупных городов прямо предписывалось устройство лесопаркового защитного пояса шириной 5–10 км.

В СНиП II-К.2-62 «Планировка и застройка населенных мест. Нормы проектирования» (утв. Госстроем СССР 07.05.1966), сменивших СН 41–58, был усилен природоохраный аспект обустройства пригородных зон. Помимо этого для них данный документ вводил дифференцированные пространственные лимиты, исчисляемые от центра главного города с населением свыше 1 млн чел. – до 60 км, 0,5–1 млн чел. – до 40 км, с населением менее 0,5 млн чел. (исключая города, расположенные в пригородной зоне более крупного города) – до 20 км.

На рубеже 1960–1970-х гг. в СССР была проведена кодификация союзного и республиканского законодательства о земле. Пригородные зоны официально становятся отдельным объектом регулирования земельного права. Однако регламентация градостроительной деятельности в них в каждой союзной республике могла иметь свои нюансы. Так, в отличие от Земельного кодекса (ЗК) РСФСР 1970 г., принятый в том же году ЗК УССР в ст. 100 обязывал согласовывать сооружение объектов на землях пригородной зоны с исполнительным комитетом соответствующего городского Совета народных депутатов. Еще более строгую норму содержал ЗК ТуркССР 1970 г., который предписывал согласование с исполнкомом городского Совета депутатов трудящихся не только размещение строений и сооружений в пригородной зоне, но также и работы по благоустройству.

Подводя итог эволюции советской градостроительной мысли в части архитектурно-планировочной организации пригородных территорий, особо выделим выстроенную в 1970–1980-х гг. систему проектирования (рисунок), которая поэтапно позволяла идентифицировать окружающую город пригородную зону, зафиксировать при обоснованной необходимости ее рубежи поверх существовавших границ административных районов по межам крупных землепользователей, предложить конкретные решения по ее развитию, а затем скоординировать их с генеральным планом главного города. Более того, разработка генеральных планов городских образований, проектов планировки и застройки сельских населенных пунктов, входящих в пригородную зону, должна была осуществляться в увязке с уже утвержденной градостроительной документацией данной зоны и образующего ее опорного города.

По сути сам проект планировки пригородной зоны зачастую становился составной частью генерального плана города, поскольку подготавливается и согласовывался совместно с ним одной и той же организацией. В пределах пригородных территорий проектантами, как правило, также размещалась и структурировалась зеленая зона, которая совокупно с внутригородскими



Система поэтапного выполнения работ по архитектурно-планировочной организации пригородной зоны на различных уровнях проектирования

массивами древесных насаждений, водными объектами и иными открытыми пространствами образовывала каркас единой эколого-планировочной системы города и его пригородной зоны. Классический пример такого интегрального подхода в позднесоветской градостроительной практике – генеральный план развития г. Харькова (утв. постановлением Совета Министров УССР от 23.06.1986 № 226), объединенный с проектом планировки пригородной и зеленой зон.

Распад СССР, переход к рыночной экономике и новому общественно-политическому строю вызвали масштабную модификацию всей законодательной базы нашей страны. За немногим более 10 лет вышло, последовательно чередуя друг друга, три ключевых нормативно-правовых акта в области градорегулирования: Закон РФ от 14.07.1992 № 3295-1 «Об основах градостроительства в Российской Федерации», ГпК РФ 1998 г. и ныне действующий ГпК РФ 2004 г. Параллельно с этим «систему ведомственной вертикали централизованного планирования городского развития сменил конституционный принцип самостоятельного решения населением вопросов местного значения, владения, пользования и распоряжения муниципальной собственностью» [15, с. 44].

Многообразие форм земельной собственности, многоукладность реорганизованного пригородного аграрно-промышленного комплекса, усиление несельскохозяйственных функций предместий, бурное развитие в них коттеджного строительства (несвойственного для советского градостроительства), переход на капиталистические способы хозяйствования и, как следствие, трансформация структуры внегородского расселения трудящихся опорного города – все это наряду с прочими факторами крайне обострило актуальность

проведения проектных работ по планировке пригородных зон. Однако старые методы градостроительного администрирования, завязанные на директивно-распорядительный механизм взаимоотношений с ведомственно-отраслевым приматом интересов производства, уже невозможно адекватно использовать без кардинальных корректировок в условиях юридического отделения местного самоуправления от государственной власти, равенства бюджетных прав муниципальных образований, их правовой независимости между собой в решении вопросов местного значения.

Тем не менее современное федеральное законодательство не предполагает какого-либо регламента по организации и упорядочиванию пригородных зон и вообще не упоминает о них. Исключением является Закон РФ от 21.02.1992 № 2395-1 «О недрах», который, однократно оперируя понятием «пригородная зона», не дает ни определения ему, ни раскрытия содержания его правового статуса.

До недавнего времени в ЗК РФ 2001 г. фигурировала специальная статья по пригородным зонам (ст. 86). Однако в практических ситуациях полноценно применять ее можно было только как дополнение к предыдущему ГрК РФ 1998 г., включавшему в себя целую главу (IX) «Регулирование использования территорий пригородных зон городов при осуществлении градостроительной деятельности». С принятием нового ГрК РФ, изначально не предусматривающего положений о пригородных территориях, вышеприведенная статья ЗК РФ становится фактически декларативной, а затем и вовсе упраздненной с марта 2015 г. В итоге профильное законодательство (как земельное, так и градостроительное) никак не регулирует на общенациональном уровне пригородные зоны, что противоречит теории градостроительства, и объективно наблюдаемому ходу урбанизации в постсоветской России.

Для разрешения накопившихся проблем в первую очередь надлежит внести ряд новелл в действующий ГрК РФ, которые легализируют пригородную зону как самостоятельный объект градостроительной деятельности, а также установят содержание, порядок подготовки, согласования и утверждения проекта ее организации в составе генерального плана городского поселения либо округа. Чтобы не путать документацию по пригородным зонам с проектами планировки территории (гл. 5 ГрК РФ), имеющими другие цели, задачи и назначение, мы выступаем за употребление в нормативных актах термина «проект организации пригородной зоны» (ПОПЗ).

Прежде всего, необходимо ввести в ГрК РФ дефиницию пригородной зоны, базовые принципы которой, помимо самоочевидных, представляются в следующем:

- 1) пригородную зону формируют только такие населенные пункты, как города;
- 2) пригородная зона начинается непосредственно за чертой опорного города и может распространяться за пределы городского поселения/округа на другие близлежащие муниципально-территориальные единицы;
- 3) пригородная зона внутренне непрерывна и целостна, поэтому какие-либо территориальные чересполосицы или вкрапливания не допускаются;

4) все семь категорий земель, указанных в ЗК РФ, могут входить в пригородную зону;

5) пригородное зонирование – не подвид функционального, а обособленный субинститут градостроительного права и эксклюзивный инструмент территориального планирования;

6) делимитация пригородной зоны производится по существующим границам муниципальных образований, кроме ситуации, когда рубежи пригородной зоны проходят в пределах городского поселения/округа, образованного опорным городом;

7) установление и изменение границы пригородной зоны осуществляется на основании ПОПЗ как неотъемлемой части генерального плана городского поселения/округа по согласованию с муниципальными образованиями, чьи территории в нее включаются или, напротив, выводятся;

8) в пределах пригородной зоны не могут создаваться другие аналогичные зоны¹;

9) в случае распространения пригородной зоны на территорию другого субъекта РФ, а также для городов федерального значения, применяется особый порядок установления, изменения и упразднения ее границ, зиждущийся на заключенном договоре между этими субъектами РФ.

Помимо вышеперечисленных принципов необходим выбор критериев, по которым станут определять максимальные пространственные пределы пригородных зон. Здесь мы придерживаемся достаточно консервативного подхода, чтобы пригородная зона не оказывалась потенциальным орудием административно-территориальной гигантомании и юридически ни в коей мере не подменяла собой городскую агломерацию – гораздо более обширное и сложное расселенческое образование. Поэтому в пригородную зону городского округа могут входить лишь поселения тех муниципальных районов, каковые имеют с ним общую границу. В ПОПЗ может быть предложено включение как отдельных поселений, напрямую примыкающих к городскому округу, или группы из них, так и всего муниципального района сразу. Для городского поселения будут действовать другие правила. Его пригородная зона может распространяться на все поселения и межселенные территории муниципального района, в котором оно расположено, а также на непосредственно граничащие с ним поселения из других муниципальных районов.

Находящиеся в пригородной зоне муниципальные образования должны согласовывать свои документы территориального планирования с муниципалитетом, чей город формирует ее. Притом в новой редакции ГрК РФ принадлежность к пригородной зоне будет дополнительной опцией для их совместной подготовки.

ПОПЗ в составе генерального плана подразделяется на утверждаемую часть и материалы по обоснованию. Утверждаемая часть содержит положе-

¹ Власти муниципального образования, чей город является административным центром субъекта РФ, вправе ликвидировать ранее утвержденные пригородные зоны населенных пунктов, которые они в соответствии с ПОПЗ присоединяют к своей такой же зоне. По соглашению муниципалитетов возможно образование общей природной зоны при совместной подготовке их генеральных планов.

ние о территориальном планировании пригородной зоны и нижеуказанную картографическую документацию:

- 1) границ пригородной зоны;
- 2) планируемого размещения в пригородной зоне объектов местного значения для нужд городского поселения/округа;
- 3) расположения лесопаркового защитного пояса города, образующего пригородную зону;
- 4) расположения лесопарковых защитных поясов городских населенных пунктов пригородной зоны².

Материалы по обоснованию ПОПЗ используются в качестве рекомендаций в документах территориального планирования муниципальных образований пригородной зоны. Подразумевается, что ПОПЗ подготавливается, согласовывается и утверждается вместе с генеральным планом по усмотрению уполномоченного органа местной власти. Однако его разработка для крупных и крупнейших городов (по классификации СП 42.13330.2011) обязательна, как и для городов – административных центров субъектов РФ.

На основании ПОПЗ в границах пригородной зоны происходит резервирование и изъятие земельных участков под объекты местного значения для нужд городского поселения/округа. Местоположение данных объектов транслируется из ПОПЗ во все генеральные планы и схемы территориального планирования муниципальных образований пригородной зоны с последующим проведением соответствующих публичных слушаний.

Для подобных объектов власти городского поселения/округа также могут выпускать местные нормативы градостроительного проектирования, носящие для муниципалитетов пригородной зоны императивный характер.

Заключение. Границы муниципальных образований не должны становиться барьером для устойчивого развития города и всей сопредельной пригородной системы расселения. Поэтому законодателю предстоит обстоятельная правотворческая работа по изменению существующего федерального законодательства, подзаконных актов и нормативно-технических документов. Изложенные в настоящей статье ключевые положения и принципы новелл имеют прикладное значение и могут использоваться для совершенствования правового обеспечения территориального планирования пригородных зон.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Поносов А.Н. К вопросу о термине «пригородная зона» // Актуальные проблемы аграрной науки в XXI веке: сб. материалов: в 2 ч. Ч. 2. Пермь: Изд-во ИПЦ «Прокрость», 2014. С. 188–192.

² Поясним, что лесопарковый защитный пояс опорного города и других городских населенных пунктов не ограничен пределами пригородной зоны и может простираться за ее границы в зависимости от конкретных физико-географических и прочих условий.

2. Щеба В.Н. Комплексный подход к организации использования земель пригородной зоны // Сборник статей международной научно-практической конференции, посвященной 15-летию создания кафедры «Землеустройство и кадастры» и 70-летию со дня рождения основателя кафедры, доктора сельскохозяйственных наук, профессора Туктарова Б.И. Саратов: ООО «Центр социальных агроЭнергии СГАУ», 2015. С. 383–386.
3. Олейник В.Д., Гладкий А.В. Этапы развития и стадии формирования пригородных зон // Псков. регионол. журн. 2016. № 1. С. 31–44.
4. Чугунова Н.В., Полякова Т.А., Деловая Е.В., Игнатенко С.А. Особенности современного социально-экономического и экистического развития пригородной зоны агломерации // Проблемы региональной экологии. 2012. № 2. С. 35–41.
5. Беляев М.К., Соколова С.А., Лысенко А.В., Каныгина О.В. Актуальные проблемы развития территории пригородной зоны: моногр. Волгоград: Изд-во ВолгГАСУ, 2016. 200 с.
6. Богоявленский С.А., Болтanova Е.С., Выпханова Г.В. и др. Правовое обеспечение благоприятной окружающей среды в городах: науч-практ. пособие / Отв. ред. Н.В. Кичигин. М.: Ин-т законодательства и сравнит. правоведения при Правительстве РФ, 2013. 336 с.
7. Упоров И.В. Понятие пригорода (пригородной зоны) в системе муниципальных отношений // Общество: политика, экономика, право. 2016. № 5. С. 118–120.
8. Бреславский А.С. Какой может быть российская субурбанизация? // Мир России: социология, этнология. 2016. Т. 25, № 1. С. 79–102.
9. Казакова А. Городские сельчане: социальный портрет населения пригородной зоны Калуги // Самоуправление. 2015. № 9. С. 15–19.
10. Гудь И.Д., Ахмедова Е.А. Анализ градостроительных процессов в пригородной зоне Самаро-Тольяттинской агломерации // Innovative Project. 2016. Т. 1, № 3. С. 84–88.
11. Новый энциклопедический словарь / Гл. ред. А.П. Горкин. М.: Большая Рос. энцикл.: РИПОЛ классик, 2000. 1455 с.
12. Любовный В.Я., Пчелинцев О.С. Макроэкономические факторы развития российских городов и задачи градостроительной политики // Проблемы прогнозирования. 2006. № 5. С. 10–32.
13. Пивоваров Ю.Л. Основы геоурбанистики: Урбанизация и городские системы: Учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений. М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 1999. 232 с.
14. Косякова Ю.Л. У истоков советского градостроительства: демократизация или огосударствление? // Academia. Архитектура и строительство. 2016. № 1. С. 79–86.
15. Бутаева Е. Виды деятельности по развитию территории: современное состояние законодательства и проблемы правового регулирования // Жилищное право. 2009. № 7. С. 44–54.

Сazonov Эдуард Владимирович, д-р. техн. наук, проф.;

E-mail: edsazonov36@yandex.ru

Воронежский государственный технический университет

Смольянинов Василий Владимирович, ст. препод.;

E-mail: svvvrn@yandex.ru

Воронежский государственный технический университет

Sazonov Eduard Vladimirovich, DSc, Professor;

E-mail: edsazonov36@yandex.ru

Voronezh State Technical University, Russia

Smol'yaninov Vasiliy Vladimirovich, Senior Lecturer;

E-mail: svvvrn@yandex.ru

Voronezh State Technical University, Russia

TERRITORIAL PLANNING OF SUBURBAN AREAS (URBAN DEVELOPMENT AND LEGISLATIVE ASPECT)

Here is given a brief historical survey of the appearance, formation and subsequent development of project works on planning suburban areas in the former USSR. It is stated, that in 1970–1980 there was a well-organized system step by step organization in which functional planning arrangement of the suburban areas was at the junction between regional planning and urban development. Analysis of the established practice of preparation general plans and federal legislation in force, has shown lack of suburban area as independent object of urban development and the process of urbanization in the post Soviet Russia. The authors of this article submit a number of novelties in the Town-Planning Code of Russian Federation in order to improve legal support of territorial planning of suburban areas.

К e y w o r d s: suburban area, legal support of territorial planning, the Town-Planning Code of Russian Federation, regional planning, general plan.

REFERENCES

1. P o n o s o v A.N. K voprosu o termine “prigorodnaya zona” [To the question about term “suburban area”]. Aktual’nye problemy agrarnoy nauki v XXI veke: sbornik materialov: v 2 chastyakh. Chast’ 2 [Actual problems of agrarian science in the 21 century. Collection of materials in 2 parts. Part 2]. Perm, Izd-vo IPTS “Prokrost”, 2014. Pp. 188–192. (in Russian)
2. S h c h e r b a V.N. Kompleksnyy podkhod k organizatsii ispol’zovaniya zemel’ prigorodnoy zony [Complex approach to the use of land in the suburban area]. Sbornik statey mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 15-letiyu sozdaniya kafedry «Zemleustroystvo i kadastry» i 70-letiyu so dnya rozhdeniya osnovatelya kafedry, doktora sel’skokhozyaystvennykh nauk, professora Tuktarova B.I. [Collection of articles of the International scientific and practical conference dedicated to the 15 anniversary of the foundation «Land use planning and cadastres» chair and to the 70 birthday anniversary of the Doctor of Agricultural Science, professor B.I. Tuktarov]. Saratov, OOO “Tsentr sotsial’nykh agroinnovatsiy SGAU”, 2015. Pp. 383–386. (in Russian)
3. O l e y n i k V.D., G l a d k i y A.V. Etapy razvitiya i stadii formirovaniya prigorodnykh zon [Stages of formation and development of suburban areas]. Pskovskiy regionologicheskiy zhurnal [Pskov regionological journal]. 2016. No. 1. Pp. 31–44. (in Russian)
4. C h u g u n o v a N.V., P o l y a k o v a T.A., D e l o v a y a Ye.V., I g n a t e n k o S.A. Osobennosti sovremennoogo sotsial’no-ekonomicheskogo i ekisticheskogo razvitiya prigorodnoy zony aglomeratsii [Features the socio-economic and ekistics developments of a residential suburb of agglomeration]. Problemy regional’noy ekologii [Regional environmental issues]. 2012. No. 2. Pp. 35–41. (in Russian)
5. B e l y a e v M.K., S o k o l o v a S.A., L y s e n k o A.V., K a n y g i n a O.V. Aktual’nye problemy razvitiya territorii prigorodnoy zony: monografiya [Actual problems of the development of territory of suburban area]. Volgograd, Izd-vo VolgGASU, 2016. 200 p. (in Russian)

6. Bogolyubov S.A., Boltanova Ye.S., Vypkhanova G.V. et al. Pravovoe obespechenie blagopriyatnoy okruzhayushchey sredy v gorodakh: nauchno-prakticheskoe posobie [Legal provision of supportive environment in cities: scientific and practical manual]. Managing editor N.V. Kichigin. Moscow, Institut zakonodatel'stva i savnitel'nogo pravovedeniya pri Pravitel'stve RF, 2013. 336 p. (in Russian)
7. Uporov I.V. Ponyatie prigoroda (prigorodnoy zony) v sisteme munitsipal'nykh otnosheniy [The concept of a suburb (a suburban area) in the system of municipal relations]. Obshchestvo: politika, ekonomika, pravo [Society: policy, economy, law]. 2016. No. 5. Pp. 118–120. (in Russian)
8. Breslavskiy A.S. Kakoy mozhet byt' rossiyskaya suburbanizatsiya? [Possible Modes of Suburbanization in Russia]. Mir Rossii: sotsiologiya, etnologiya [Universe of Russia: sociology, ethnology]. 2016. Vol. 25, No. 1. Pp. 79–102. (in Russian)
9. Kazakova A. Gorodskie sel'chane: sotsial'nyy portret naseleniya prigorodnoy zony Kalugi [City villagers: the social portrait of the of suburbanian population of Kaluga]. Samoupravlenie [Self-government]. 2015. No. 9. Pp. 15–19. (in Russian)
10. Gund' I.D., Akhmedova Ye.A. Analiz gradostroitel'nykh protsessov v prigorodnoy zone Samaro-Tol'yattinskoy aglomeratsii [Analysis of urban development in a suburban area of Samara-Togliatti agglomeration]. Innovative Project. 2016. Vol. 1, No. 3. Pp. 84–88. (in Russian)
11. Novyy entsiklopedicheskiy slovar' [New encyclopedic dictionary]. Editor-in-chief A.P. Gorkin. Moscow, Bol'shaya Ros. entsikl. RIPOL klassik, 2000. 1455 p. (in Russian)
12. Lyubovnyy V.Ya., Chelintsev O.S. Makroekonomicheskie faktory razvitiya rossiyskikh gorodov i zadachi gradostroitel'noy politiki [Macroeconomic factors of development Russian towns and tasks of urban-building factors]. Problemy prognozirovaniya [Prognosis problems]. 2006. No. 5. Pp. 10–32. (in Russian)
13. Pivovarov Yu.L. Osnovy geourbanistiki: Urbanizatsiya i gorodskie sistemy: Ucheb. posobie dlya studentov vyssh. zavedeniy [Basics of geourbanistics: Urbanization and city systems: Textbook for higher educational Institutions]. Moscow, Gumanit. izd. tsentr VLADOS, 1999. 232 p. (in Russian)
14. Kosenkova Yu.L. U istokov sovetskogo gradostroitel'stva: demokratizatsiya ili ogosudarstvlenie? [At the origins of Soviet urban development: democratization or governmentalization?]. Academija. Arkhitektura i stroitel'stvo [Academija. Architecture and construction]. 2016. No. 1. Pp. 79–86. (in Russian)
15. Butaeva Ye. Vidy deyatel'nosti po razvitiyu territorii: sovremennoe sostoyanie zakonodatel'stva i problemy pravovogo regulirovaniya [Types of activities for the development of the territory: current state of legislation and problems of legal regulation]. Zhilishchnoe pravo [Housing law]. 2009. No. 7. Pp. 44–54. (in Russian)

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

УДК 658.7.012

В.С. ВОРОБЬЕВ, А.Л. ЛАНИС, Ю.В. ПОПОВА

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОСТАВКАМИ И ЗАПАСАМИ МАТЕРИАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ НА СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЛИНЕЙНО-РАССРЕДОТОЧЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Индустриальное освоение необжитых территорий в районах севера Сибири и Дальнего Востока представляет собой сложный комплекс проблем, многие из которых связаны с созданием инфраструктуры региона и, в особенности, всевозможных коммуникаций (железных и автомобильных дорог, линий электропередач, связи, трубопроводного транспорта и т.д.). Поставка материальных ресурсов в эти регионы обусловлена сезонностью и необходимостью создания запасов по трассам строящихся дорог, что вызывает дополнительные затраты на транспортную и складскую логистику, соизмеримые с их стоимостью. Поэтому формирование системы управления поставками и запасами материальных ресурсов на строительстве линейно-распределенных объектов является актуальной проблемой. В статье сформулирован и обоснован ряд гипотез по стратегии хранения грузов на складах на весь период строительства и снабжения ими потребителя, их перемещения по фронту работ с учетом потребности трассы в продукте. В целях повышения эффективности управления транспортно-складской системой предложена математическая модель ее функционирования, дана постановка задачи оптимального управления поставками и запасами материальных ресурсов. В качестве одного из методов решения предложено использовать принцип максимума Л.С. Понтрягина. Снижение затрат на транспортно-складскую логистику по сравнению с традиционными решениями, применяемыми строительно-монтажными организациями в практической работе, составляет до 15 % и более.

Ключевые слова: линейно-распределенные объекты, оптимальное управление, транспортно-складская система, модель, материальные ресурсы.

Федеральной целевой программой «Развитие транспортной системы России (2010–2020 годы)» предусмотрены модернизация и строительство автомобильных дорог с целью развития современной и эффективной транспортной инфраструктуры, обеспечивающей ускорение товародвижения и снижение транспортных издержек в экономике. Национальной программой модернизации и развития автомобильных дорог Российской Федерации до 2025 г. предусмотрены строительство и реконструкция автомобильных дорог в районах нового освоения «Колыма» от Якутска до Магадана; реконструкция автомобильной дороги М-56 «Лена» от Невера до Якутска и ряд других. Как правило, развитие инфраструктуры региона сопровождается промышленно-гражданским строительством (ПГС) [1]. Поставка материальных ре-

сурсов в этот регион связана с сезонностью и необходимостью создания запасов по трассам строящихся дорог и объектов ПГС, что вызывает дополнительные затраты на транспортную и складскую логистику [2].

В научной литературе обсуждаются проблемы складской инфраструктуры регионов, местоположения складов, формирования логистики как инструмента повышения конкурентоспособности транспортного рынка [3–5]. Однако они не отражают специфику и особенности управления поставками и запасами материальных ресурсов на строительстве как линейно-рассредоточенных объектов, так и промышленно-гражданских сооружений, создаваемых вдоль трасс дорог. Известны работы, посвященные строительству линейно-рассредоточенных объектов, в недостаточной степени раскрывающие логистические проблемы управления поставками и запасами [6–8]. Поэтому проблема оптимизации управления поставками и запасами на строительстве рассредоточенных объектов остается актуальной.

Целью исследования является обоснование стратегии управления поставками и запасами материальных ресурсов, их складского хранения на протяжении строительства объектов и снабжения ими потребителей в процессе перемещения фронта работ с учетом потенциально возможного производства отдельных видов материалов в пунктах поставки и рассогласования фактических запасов со страховыми или нормативными.

Постановка проблемы. Строительно-монтажное подразделение (СМП), под которым подразумевается организация любой формы собственности и структуры, возводит распределенный объект с известными для каждого погонного километра объемами работ и потребностями в строительных грузах. Транспортно-логистические процессы снабжения строительства осуществляются из пунктов, лежащих на трассе и имеющих емкости для хранения грузов. В этих условиях необходимо найти стратегию хранения грузов и снабжения ими потребителя (СМП), оптимальную в смысле некоторого, заранее заданного, критерия качества.

В процессе строительства любого линейно-рассредоточенного объекта потребляется довольно широкий спектр привозных ресурсов. Для строительных организаций, осуществляющих практически однородные работы и потребляющие при этом небольшой перечень ресурсов, затраты по доставке и хранению которых мало изменяются при переходе с одного продукта на другой, можно принять, что СМП потребляет в процессе строительства однородный продукт.

Такое предположение справедливо и на этапе технического проектирования, когда подробные сведения о потребляемых продуктах еще неизвестны. В этих условиях необходимо найти лишь узловые, принципиальные решения относительно стратегии перемещения агрегированного (обобщенного) груза и хранения его на складах на весь период строительства. В дальнейшем этот обобщенный продукт может быть дезагрегирован при уточнении и конкретизации проектных проработок. В качестве измерителя обобщенного продукта можно принять, например, единицу веса (килограмм, тонна и т.д.) основного, наиболее важного продукта.

Объемы работ вдоль трассы определяются проектом. Поэтому закон изменения потребности трассы в продукте предполагается заданным. В дальнейшем относительно этого закона полагаем, что потребность трассы в продукте является кусочно-постоянной функцией линейной координаты трассы. Эта гипотеза нисколько не снижает точности и адекватности постановки, так как трасса может быть разбита на любое число звеньев. В качестве единицы измерения потребности может быть принята тонна на километр.

Следующая гипотеза характеризует собой связь между скоростью транспортировки продукта и скоростью перемещения фронта работ по трассе. Единицей измерения этих скоростей является километр в час.

Обозначим через V – скорость перемещения фронта работ, а через μ – скорость транспортировки продукта. Тогда будет справедливо соотношение $\frac{V}{\mu} \geq 0$. Совершенно очевидно, что в реальных условиях эта гипотеза выполняется с очень большой достоверностью.

Утверждения приведенных гипотез соответствуют условиям работы межколонны, производящей отсыпку земляного полотна железной или автомобильной дороги. В этом случае большой удельный вес потребляемых продуктов имеют горюче-смазочные материалы. Скорость же перемещения фронта работ из-за больших объемов работ существенно ниже скорости перемещения грузов вдоль трассы. Общеизвестно, что скорость перемещения фронта работ вдоль строящейся трассы зависит от мощности строительного подразделения или другими словами, от его производительности (объемов работ, выполняемых в единицу времени). Под производительностью СМП понимается та сумма капитальных вложений в строящуюся трассу, которая осваивается им в единицу времени, она измеряется в рублях на час, под удельными объемами выполняемых работ – объемы (в рублях), приходящиеся на один погонный километр трассы. Единица измерения удельных объемов работ рубль на километр. Снабжение строительства осуществляется из пунктов-поставщиков, лежащих на трассе и имеющих емкости для хранения потребляемого продукта. Кроме того, в пунктах-поставщиках предусматривается производство этого продукта с некоторой переменной интенсивностью. В качестве ее единицы измерения, а также единицы измерения интенсивностей приема и отгрузки продукта принимается тонна в час.

Охарактеризуем балансовые соотношения, связанные с запасами продукта, находящимися на складах отдельных пунктов, на складе СМП или в процессе перемещения, т.е. непосредственно на звеньях трассы.

Для любого пункта трассы, имеющего собственное производство, запас продукта на конец периода равен запасу на начало, плюс продукт, произведенный в этом пункте, а также полученный со смежных пунктов, и минус продукт, отгруженный в соседние в течение рассматриваемого периода. Запас же продукта в конечных пунктах на конец периода равен запасу на начало, плюс произведенный и минус отгруженный в течение рассматриваемого периода.

И, наконец, запас продукта на трассе складывается из запасов, находящихся на ее отдельных звеньях. При этом запас продукта в отдельном звене, не являющимся объектом деятельности СМП, на конец периода складывается из запаса продукта на начало периода и продукта, полученного из смежных пунктов за вычетом отгруженного в смежные пункты в течение рассматриваемого периода.

Условие баланса продукта на звене, являющимся объектом деятельности СМП, выписывается аналогично, однако в нем учитывается передача продукта не в соседние пункты трассы, а на склад СМП.

Практика эксплуатации транспортных систем показывает, что с увеличением объемов одновременно транспортируемых грузов появляется потребность увеличивать интенсивность транспортировки. Эта потребность удовлетворяется либо за счет увеличения скорости движения транспортных средств, либо за счет увеличения их количества, либо за счет того и другого. В то же время снижение объемов транспортируемых грузов позволяет снизить интенсивность транспортировки. Последнее осуществляется для того чтобы уменьшить грузонапряженность транспорта. Интенсивность передачи продукта на склад СМП со смежного транспортного звена зависит от характера изменения запаса перемещаемого по нему груза. При этом реализуется следующий закон регулирования. Относительное превышение запаса продукта на смежном звене выше некоторого, нормативного (страхового), при прочих равных условиях ведет к увеличению интенсивности его передачи на склад СМП, а снижение ниже нормального – уменьшает ее.

Отдельные периоды времени в СМП возможно образование дефицита продукта, что в свою очередь приведет к недопустимому свертыванию работ. На практике для ликвидации такого дефицита руководство будет вынуждено увеличивать интенсивность приема продукта. Однако затоваривание склада СМП будет затруднять производство работ и вынуждать тем самым либо приостанавливать прием продукта, либо уменьшать его интенсивность. Отсюда следует, что интенсивность приема продукта зависит от характера изменения его запаса на складе СМП.

Фактический запас продукта на складе СМП слагается из двух составляющих. Первая из них растет, если фактический запас продукта на складе СМП ниже страхового (нормативного) и соответственно падает в противном случае. Вторая составляющая увеличивается, если запас продукта, находящийся в транспортировке, на смежном звене выше и соответственно падает, если он ниже нормативного уровня. При прочих равных условиях наибольшую интенсивность производства следует иметь в том пункте, который ближе всего находится к потребителю.

Из практики известно, что затоваривание какого-либо транспортного узла всегда ведет к ограничению его пропускной способности, а тем самым к ограничению работы транспорта. Но и то, и другое чревато большими экономическими потерями. Поэтому осуществляются всевозможные мероприятия, которые позволяют застраховаться от подобных явлений. К числу таких мероприятий относится управление интенсивностью производства продукта по величине рассогласования фактического запаса от некоторой

нормативной или страховой величины. В этом случае управление интенсивностью производства происходит по следующей схеме. Если фактический запас продукта в каком-либо пункте превышает пороговое значение (страховой уровень), то интенсивность производства продукта в нем уменьшается, и соответственно если фактический запас ниже страхового уровня, то интенсивность производства в немрастет.

Предлагаемая в [9] критериальная оценка качества складской инфраструктуры не описывает динамику поставок ресурсов в регионы транспортного и промышленно-гражданского строительства.

Оценка качества функционирования территориально-строительной системы (ТСС) может быть осуществлена, исходя из функции транспортно-логистических затрат, связанных с хранением продукта в пунктах и звеньях ТСС, затрат на транспортировку продукта по звеньям, затрат на передислокацию СМП, совокупных издержек ТСС. Интегральным критерием качества функционирования системы выступает минимум совокупных логистических (транспортно-складских) затрат.

Изложенное выше представим в формализованном виде.

Пусть $z(t)$ – координата местонахождения СМП в момент времени t ;

a_j – координата местонахождения j поставщика ($j = \overline{0, m}$);

m – количество поставщиков.

Интервал изменения основных параметров системы:

$$a_{i-1} \leq z(t) < a_i, \quad \forall t \in [t_{i-1}, t_i], \quad i = \overline{1, m-1}; \quad (1)$$

$$a_{m-1} \leq z(t) \leq a_m, \quad \forall t \in [t_{m-1}, t_m], \quad i = m.$$

Перемещение фронта работ на звене i трассы за интервал времени Δt можно представить следующим образом:

$$z(t + \Delta t) = z(t) + \frac{\omega}{Q_i} \Delta t \quad \text{или} \quad \frac{dz}{dt} = q_i \omega, \quad (2)$$

где ω – производительность СМП;

Q_i – удельный объем работ (объем работ, приходящийся на единицу длины трассы) участка i ;

q_i – величина, обратная удельному объему работ Q_i .

Баланс потребления продукта за малый период Δt , когда фронт работ переменится на величину Δz , выражается в виде равенства

$$\rho(t)\Delta t = h(z)\Delta z.$$

После преобразования

$$\rho(t)\Delta t = h(z)\frac{dz}{dt} = h(z)q_i\omega$$

или

$$\rho(t) = \pi_i q_i \omega, \quad \forall t \in [t_{i-1}, t_i], \quad i = \overline{1, m-1};$$

$$\forall t \in [t_{m-1}, t_m], \quad i = m.$$

Здесь $h(z)$ – закон изменения потребности трассы в продукте;

π_i – количество продукта, необходимое для производства работ на единицу длины участка i трассы.

Балансовое соотношение для запаса продукта на складе СМП:

$$w(t + \Delta t) = w(t) + (\mu - \rho) \Delta t \text{ или } \frac{dw}{dt} = \mu - \pi_i q_i \omega, \forall t \in [t_{i-1}, t_i], i = \overline{1, m-1}, \quad (3)$$

$$\forall t \in [t_{m-1}, t_m], i = m,$$

где w – запас продукта на складе СМП;

μ – интенсивность поступления продукта на склад СМП.

Баланс продукта в произвольном пункте трассы j ($j = \overline{1, m-1}$)

$$\frac{dA_j}{dt} = \begin{cases} \gamma_0 - \delta_0, & j = 0 \\ \gamma_j + \beta_j - \delta_j, & j = \overline{1, m-1} \\ \gamma_m - \beta_m, & j = m, \end{cases} \quad (4)$$

здесь A_j – запас продукта, находящийся в пункте j ;

γ_j – интенсивность производства продукта в пункте j ;

δ_j – интенсивность отгрузки продукта из пункта j ;

β_j – интенсивность приема продукта в пункте j со смежного звена.

Баланс продукта при его транспортировке на участке j за время Δt :

$$\frac{dB_j}{dt} = \begin{cases} \delta_{j-1} - \beta_j, & j < i \\ \delta_{j-1} + \delta_j - \mu, & j = i \\ \delta_j - \beta_{j-1}, & j > i, \end{cases} \quad (5)$$

где B_j – запас продукта, находящийся в транспортировке на звене j .

Интенсивность приема продукта на склад СМП, когда работы производятся на участке i , можно выписать в следующем виде:

$$\begin{aligned} \mu(t + \Delta t) &= \mu(t) + [\alpha_i(\eta - w) + S_i(B_i - y_i)] \Delta t \\ \text{или} \quad \frac{d\mu}{dt} &= \alpha_i(\eta - w) + S_i(B_i - y_i), \end{aligned} \quad (6)$$

где y_i – нормативный уровень запаса продукта, находящийся на звене i трассы;

η – страховой уровень запаса продукта на складе СМП.

Коэффициенты α_i и S_i показывают изменение интенсивности приема продукта на склад СМП, если величина рассогласования фактического запаса продукта со страховыми и соответственно величина рассогласования фактического объема транспортируемого груза с нормативными составляет единицу.

Изменение интенсивности приема продукта на склад произвольного пункта j

$$\frac{d\beta_j}{dt} = \begin{cases} S_j(B_j - y_j), & j = \overline{1, i-1} \\ S_{j+1}(B_{j+1} - y_{j+1}), & j = \overline{i, m-1}. \end{cases} \quad (7)$$

Интенсивность отгрузки продукта из произвольного пункта трассы

$$\frac{d\delta_j}{dt} = \begin{cases} S_{j+1}(y_{j+1} - B_{j-1}), & j = \overline{0, i-1} \\ S_j(y_j - B_j), & j = \overline{i, m-1}. \end{cases} \quad (8)$$

Совокупные издержки образуются из затрат хранения на складе СМП, в пунктах трассы, на всех звеньях трассы во время транспортировки, затрат на перемещение продукта по всем звеньям трассы, затрат на передислокацию СМП

$$L = \int_0^{t_m} \left[C'w + \sum_{j=0}^m C_j^2 A_j + \sum_{j=1}^m (C_j^3 B_j + C_j^4 B_j \delta_{j-1} + C_j^4 B_j \beta_j) \right] dt + \sum_{i=1}^m C_i^5 \int_{t_{i-1}}^{t_i} w \omega dt. \quad (9)$$

Здесь C^1, C^2, C^3, C^4, C^5 – стоимость хранения на складе СМП единицы продукции, в пунктах трассы, на всех звеньях трассы во время транспортировки, перемещения продукта по всем звеньям трассы, передислокации СМП.

Проблему повышения эффективности управления транспортно-складской системой сформулируем в виде следующей задачи оптимального управления.

Требуется найти кусочно-непрерывное управление $U(t)$, $0 \leq t \leq t_m$, принадлежащее области $\omega \leq \omega \leq \bar{\omega}$, $\eta \leq \eta \leq \bar{\eta}$, $y_i \leq y_i \leq \bar{y}_i$ ($j = \overline{1, m}$), которое переводит систему (2)–(5) из начального состояния $Z(0) = 0$, $W(0) = W^0$, $A_j(0) = A_j^0$, ($j = \overline{0, m}$), $B_j(0) = B_j^0$ ($j = \overline{1, m}$), $\mu(0) = \mu^0$, $\beta_j(0) = \beta_j^0$ ($j = \overline{1, m-1}$), $\delta_j(0) = \delta_j^0$ ($j = \overline{0, m}$), $\gamma_j(0) = \gamma_j^0$ ($j = \overline{0, m}$) в конечное $Z(t_m) = Q_m$ (t_m – момент завершения строительства трассы), $W(t_m) = W^m$, $A_j(t_m) = A_j^m$ ($j = \overline{0, m}$), $B_j(t_m) = 0$ ($j = \overline{1, m-1}$), $\delta_j(t_m) = 0$ ($j = \overline{0, m}$), $\gamma_j(t_m) = 0$ ($j = \overline{0, m}$), удовлетворяя при этом ограничениям $0 \leq Z \leq a_m$, $0 \leq W \leq \bar{W}$, $0 \leq A_j \leq \bar{A}_j$ ($j = \overline{0, m}$), $0 \leq B_j \leq \bar{B}_j$ ($j = \overline{1, m}$), $0 \leq \mu \leq \bar{\mu}$, $0 \leq \beta_j \leq \bar{\beta}_j$ ($j = \overline{1, m}$), $0 \leq \delta_j \leq \bar{\delta}_j$ ($j = \overline{0, m}$), $0 \leq \gamma_j \leq \bar{\gamma}_j$ ($j = \overline{0, m}$)

и доставляя минимум функционалу (9).

Решение поставленной задачи можно осуществить с использованием принципа максимума Л.С. Понтрягина [10].

Заключение. Предложенный подход к формированию управления поставками и запасами материальных ресурсов, основанный на динамике фронта работ, связанного с интенсивностью поставок и перемещением транспортно-складских центров, представленный математической моделью, значительно повышает эффективность принимаемых решений по сравнению с традиционными, применяемыми строительно-монтажными организациями в практической работе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузьменко Ю.Г., Грейз Г.М., Калентеев С.В. Транспортно-логистическая система как субъект социально-экономического развития региона // Изв. Урал. гос. экон. ун-та. 2013. № 2. С. 111–118.
2. Воробьев В.С. Организация управления запасами и поставками материальных ресурсов на новостройках в районах нового освоения // Изв. вузов. Строительство. 2004. № 9. С. 49–55.
3. Попов П.В., Мицкий И.Ю. Влияние социально-экономических факторов на формирование складской инфраструктуры регионов // Вестн. МГСУ. 2017. № 2. С. 222–229.
4. Гусев С.А. Проблемы определения местоположения складов // Логистика. 2011. № 2. С. 53–55.
5. Титюхин Н.Ф. Логистика – инструмент повышения конкурентоспособности транспортного рынка России // Логинфо. 2011. № 1–2. С. 9–13.
6. Бочков П.В. Развитие транспортно-логистических центров в региональной экономике // Современные тенденции в экономике и управлении: новый взгляд. 2014. № 27. С. 86–90.
7. Дмитриев А.В. Методологические основы управления логистикой транспортно-складских центров // Изв. СПб. гос. экон. ун-та. 2012. № 6. С. 76–81.
8. Воробьев В.С., Лунтицына Е.В. Формирование системы управления транспортным строительством в зоне создания топливно-сырьевого комплекса // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2012. № 2. С. 93–97.
9. Фрейдман О.А. Критериальная оценка складской инфраструктуры как элемента транспортно-логистического кластера // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер. Экономика. 2014. № 1. С. 57–62.
10. Понtryagin L.S., Boltyanskiy V.G., Gamkrelidze M.V., Mishchenko V.F. Matematicheskaya teoriya optimalnykh processov. M.: Nauka, 1969. 384 c.

Воробьев Валерий Степанович, д-р техн. наук, проф.

Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск

Ланис Алексей Леонидович, канд. техн. наук, доц.

Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск

Попова Юлия Владимировна, препод.

Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск

Получено после доработки 14.06.17

Vorob'ev Valeriy Stepanovich, DSc, Professor

Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

Lanis Aleksey Leonidovich, PhD, Ass. Professor

Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

Popova Julia Vladimirovna, Lecturer

Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

OPTIMAL MANAGEMENT OF SUPPLIES AND RESERVES OF MATERIAL RESOURCES ON THE CONSTRUCTION OF LINEAR-DISTRIBUTED OBJECTS

Industrial development of uninhabited areas in the North Siberia and the Far East of the country is a complex set of problems, many of which are associated with the formation

of infrastructure in the region and, in particular, various communications (railways, roads, power lines, communications, pipeline transport, etc.). Supply of material resources to these regions is related to seasonality and the need to build reserves for roads under construction, which causes additional expenses for transport and warehouse logistics comparable with their cost. That is why, the formation of the management system of supplies and stocks of material resources in the construction of linear-distributed objects is an important issue. Some assumptions on strategy of warehouse storage during the whole period of its construction, consumers supplies (construction train), cargo movement in the field of operation, taking into account demands for the cargo, are formulated in the article. In order to improve management of transport and storage system the mathematical model of its functioning is suggested, the formulation of the optimal control problem of supply and stocks of material resources is defined. It is proposed to use L.S. Pontryagin's principle of maximum. Reduction in expenses for warehouse logistics compared to traditional solutions used by construction companies, in practical work is up to 15 % and more.

К e y w o r d s: linearly dispersed objects, optimal control, transport-warehouse system, model, material resources.

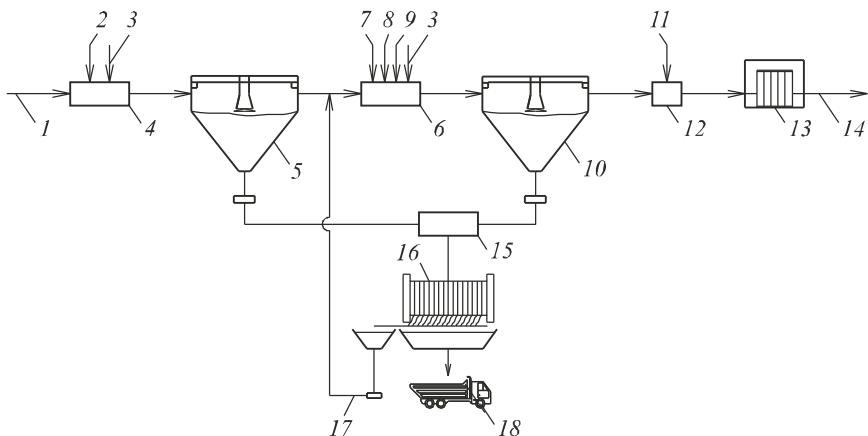
REFERENCES

1. Kuzmenko Yu.G., Greiz G.M., Kalenteev S.V. Transportno-logisticheskaya sistema kak sub'ekt sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya regiona [Transport and logistics system as a subject of socio-economic development of the region]. Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta [News of the Ural state economic University]. 2013. No. 2. Pp. 111–118. (in Russian)
2. Vorob'yev V.S. Organizatsiya upravleniya zapasami i postavkami material'nykh resursov na novostroykakh v rayonakh novogo osvoeniya [Organization of storekeeping and deliveries of material resources in areas of new development]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2004. No. 9. Pp. 49–55. (in Russian)
3. Popov P.V., Miretskiy I.Yu. Vliyanie sotsial'no-ekonomicheskikh faktorov na formirovanie skladskoy infrastruktury regionov [The Influence of socio-economic factors on the formation of warehouse infrastructure]. Vestnik MGSU [Bulletin MSSU]. 2017. No. 2. Pp. 222–229. (in Russian)
4. Gusev S.A. Problemy opredeleniya mestopolozheniya skladov [The Problem of determining the location of the warehouses]. Logistika [Logistics]. 2011. No. 2. Pp. 53–55. (in Russian)
5. Tityuhin N.F. Logistika – instrument povysheniya konkurentospособности transportnogo rynka Rossii [Logistics – the tool of increase of competitiveness of the transport market of Russia]. Loginfo [Loginfo]. 2011. No. 1–2. Pp. 9–13. (in Russian)
6. Bochkov P.V. Razvitiye transportno-logisticheskikh tsentrov v regional'noy ekonomike [Development of transport and logistics centers in the regional economy]. Sovremennye tendentsii v ekonomike i upravlenii: novyy vzglyad [Modern trends in Economics and management: a new look]. 2014. No. 27. Pp. 86–90. (in Russian)
7. Dmitriev A.V. Metodologicheskie osnovy upravleniya logistikoy transportno-skladskikh tsentrov [Methodological foundations of management of logistics of transport and storage centers]. Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta [Bulletin of Saint-Petersburg state economic University]. 2012. No. 6. Pp. 76–81. (in Russian)

8. Vorob'ev V.S., Lunitsina E.V. Formirovanie sistemy upravleniya transportnym stroitel'stvom v zone sozdaniya toplivno-syr'evogo kompleksa [Formation of system of management of transport construction in the area of fuel and raw materials complex]. Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka [Scientific transport problems of Siberia and the Far East]. 2012. No. 2. Pp. 93–97. (in Russian)
 9. Friedman O.A. Kriterial'naya otsenka skladskoy infrastruktury kak elementa transportno-logisticheskogo klastera [Criteria assessment of warehouse infrastructure as part of the transportation and logistics cluster]. Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Vestnik of Astrakhan state technical University. Series: Economics]. 2014. No. 1. Pp. 57–62. (in Russian)
 10. Pontryagin L.S., Boltyanskiy V.G., Gamkrelidze M.V., Mishchenko V.F. Matematicheskaya teoriya optimal'nykh protsessov [Mathematical theory of optimal processes]. Moscow, 1969. 384 p. (in Russian)
-

СПОСОБ ОЧИСТКИ СТОЧНОЙ ЖИДКОСТИ ОТ ФОСФАТОВ И СУЛЬФАТОВ

В НГАСУ (Сибстрин) на кафедре «Водоснабжение и водоотведение» разработан «Способ очистки сточной жидкости от фосфатов и сульфатов». Согласно данному способу, эффект удаления фосфатов достигает 97–98 %, сульфатов – 99,9 %, то есть концентрация фосфора (по PO_4^{3-}) и сульфатов (по SO_4^{2-}) в очищенной сточной воде составляет 0,6 мг/л и 100 мг/л соответственно.



Технологическая схема: 1 – подача сточной жидкости; 2 – хлорид железа; 3 – воздух; 4 – камера реакции I ступени; 5 – отстойник физико-химической очистки I ступени; 6 – камера реакции II ступени; 7 – соляная кислота; 8 – хлорид бария; 9 – избыточный активный ил; 10 – отстойник физико-химической очистки II ступени; 11 – щелочь; 12 – смеситель; 13 – мембранные модули; 14 – очищенная сточная вода; 15 – сборник химического осадка обеих ступеней; 16 – камерный фильтр-пресс; 17 – фильтрат; 18 – обезвоженный осадок

Данный способ очистки сточной жидкости от фосфатов и сульфатов предполагает повысить процент удаления сульфатов и фосфатов из сточной жидкости, снизить количество образующегося химического осадка, уменьшить материальные затраты на реагенты за счет отказа от применения дорогостоящей фосфорной кислоты, сократить продолжительность отстаивания, уменьшить требуемое количество отстойников физико-химической очистки, а значит, и снизить капитальные затраты.

На способ очистки сточной жидкости от фосфатов и сульфатов получен патент.

Разработчики: Галина Тарасовна АМБРОСОВА, канд. техн. наук, профессор
Евгений Николаевич МАТЮШЕНКО, аспирант, ассистент
E-mail: ematyushenko1991@mail.ru

630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)
E-mail: patent@sibstrin.ru

Тел. +7(383) 266 42 81; 266 39 70

УВАЖАЕМЫЕ АВТОРЫ!

Для оформления научных статей по требованиям ВАК, РИНЦ, Scopus на сайте нашего журнала <http://izvuz.str.sibstrin.ru> помещены «ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ, ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И РЕДАКЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ РУКОПИСЕЙ СТАТЕЙ».

Просим Вас обратить особое внимание на составление библиографического списка на английском языке – REFERENCES:

- для ссылок на зарубежные источники на латинице – с сохранением оригинального описания;
- для ссылок на русскоязычные источники – транслитерированные с русских букв на латинские символы (по системе BGN) фамилии и инициалы всех авторов; название статьи; затем в квадратных скобках – название статьи в переводе на английский язык; остальные элементы библиографического описания на английском языке, с исключением разделителей, таких как /, –, //, и заменой №, с. и С. соответственно на No., p. и Pr., в конце – (in Russian).

Примеры оформления текста статей и REFERENCES – в рубрике «полнотекстовые версии статей».

Журнал публикует информацию о научно-технических разработках в области строительства объемом 1 с., включая 1–2 иллюстрации. Обязательны сведения о разработчиках: фамилия, имя, отчество полностью; звания; контактная информация, место работы и электронная версия.

Редакция имеет право на редакционную обработку статьи. Для контакта с редактором просим сообщать номер мобильного телефона одного из авторов (не для опубликования).

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
«СТРОИТЕЛЬСТВО»

Издается с марта 1958 г.

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, вступивший в силу с 1 декабря 2015 г.; входит в международную базу данных CA(pt) (Chemical Abstracts).

В журнале публикуются статьи, содержащие новые результаты научных исследований теоретического и прикладного характера, обзорные статьи по состоянию, научным проблемам и перспективам развития теории архитектуры, строительных наук и строительной отрасли, рецензии на книги, научно-техническая информация. Авторы и читатели журнала – научно-педагогические работники, аспиранты, студенты старших курсов строительных вузов и факультетов, сотрудники научно-исследовательских и проектных институтов, строительных организаций и предприятий.

Тематические разделы журнала:

- Теория сооружений
- Строительные конструкции, здания и сооружения. Основания и фундаменты
- Строительные материалы и изделия
- Инженерные системы жизнеобеспечения населенных мест, зданий и сооружений. Экологическая безопасность строительства
- Гидroteхническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология
- Технология и организация строительства
- Научные проблемы архитектуры, градостроительства и экологии
- Научно-методический раздел
- В лабораториях вузов
- Достижения науки – производству
- Научно-техническая информация

Принимается подписка
на 2-е полугодие по каталогу «Роспечать» 2017 г.

Каталожная цена за 6 месяцев – 4200 р.
Цена отдельного номера – 700 р.

ББК 38
И 33
УДК 69

Научное издание

Известия вузов
СТРОИТЕЛЬСТВО

№ 7 (703) 2017

Научно-теоретический журнал

Редакторы: *С.М. Погудина, Н.И. Коновалова*

Технический редактор *Н.М. Макаренко*

Компьютерная верстка *Р.Г. Усова*

Корректор *Г.И. Шведкина*

Свидетельство о регистрации № 993 от 28.11.90 г.

Подписано в печать 26.07.17. Формат 70×108 1/16
Усл. печ. л. 9,63+0,35. Тираж 350 экз. Заказ 6242

ООО «Партнеры Сибири»,
630009, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 16