

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
И НАУКИ РФ
МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ
СТРОИТЕЛЬНЫХ ВУЗОВ

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ
УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
СТРОИТЕЛЬСТВО

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

№ 6 (666)
Июнь 2014 г.

Главный редактор В.Г. Себешев, почет. чл. РААСН, канд. техн. наук, проф.

Редакционная коллегия:

А.А. Афанасьев, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф.
В.Л. Баладинский, д-р техн. наук, проф.
В.А. Воробьев, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф.
В.А. Игнатьев, д-р техн. наук, проф.
В.И. Костин, д-р техн. наук, проф. (зам. гл. редактора)
Г.Б. Лебедев, канд. техн. наук, доц. (зам. гл. редактора)
Е.М. Лобанов, д-р техн. наук, проф.
Л.С. Ляхович, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф.
В.И. Морозов, д-р техн. наук, проф.
Ю.П. Панибратов, акад. РААСН, д-р экон. наук, проф.
Ю.П. Правдивец, д-р техн. наук, проф.
В.Г. Себешев, почет. чл. РААСН, канд. техн. наук, проф.
Ю.А. Феофанов, д-р техн. наук, проф.
Е.М. Чернышов, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф.

Ответственный секретарь Н.В. Биткина

Адрес редакции:

630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113
Тел./факс +7 (383) 266 28 59
www.sibstrin.ru E-mail: izvuz_str@sibstrin.ru

Свидетельство о регистрации № 993 от 28.11.90 г.

Подписано в печать 23.06.14. Формат 70×108 $\frac{1}{16}$
Усл. печ. л. 11,03+0,35. Тираж 350 экз. Заказ 6300

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

© Издатель НГАСУ (Сибстрин), 2014

СОДЕРЖАНИЕ

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ
КОНСТРУКЦИИ**

- Пономарев А.Б., Калошина С.В.** Определение осадок фундаментов существующего здания при влиянии на него нового строительства 5

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ
МАТЕРИАЛЫ
И ИЗДЕЛИЯ**

- Хархардин А.Н.** Анализ уровней дискретности вещества. Часть 5 14

- Рахимбаев Ш.М., Половнева А.В.** Кинетика твердения цементных бетонов после энергоэффективной тепловой обработки 21

- Пименов А.И., Ибрагимов Р.А., Изотов В.С.** Влияние углеродных нанотрубок и способа их введения на свойства цементных композиций 26

- Савицкий Н.В., Павленко Т.М., Аббасова А.Р.** Свойства вибровакуумированных золобетонов 31

- Селяев В.П., Неверов В.А., Куприяшкина Л.И., Селяев П.В.** Влияние цеолит-содержащих наполнителей на прочность и пористость цементных композитов 36

- Логанина В.И., Камбург В.Г., Макарова Л.В., Бодажков Н.Ю.** Оптимизация состава сухих строительных смесей с учетом их стоимости 44

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Грузин В.В., Абраменков Д.Э., Грузин А.В., Угай В.В. Совершенствование технологий усиления грунтовых оснований зданий и сооружений 51

САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА

Войтов Е.Л., Сколубович Ю.Л., Крутков А.Е. Технология очистки и повторного использования промывных вод водопроводных станций поверхностных водоисточников 59

Кульков В.Н., Солопанов Е.Ю., Кудрявцева Е.В. Использование информационных технологий математического моделирования биологической очистки сточных вод 66

Костин В.И., Кармишкина А.В. Особенности расчета холодопроизводительности систем климатизации термоконстантных помещений 74

Серегина Ю.С., Щукина Т.В. К вопросу выбора теплообменника для геотермальных тепловых насосов непосредственного испарения 79

СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И МОСТОВ

Дубенков А.А. Моделирование организационно-технологических решений в проектах организации строительства земляного полотна на многолетнемерзлых грунтах 87

НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ

Евграфова И.М., Лаврусевич А.А. К вопросу обоснования корректирования размеров санитарно-защитной зоны 94

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Офрихтер В.Г., Офрихтер Я.В. Улучшение твердых бытовых отходов методом динамического уплотнения 101

ВНЕДРЕНИЕ НАУЧНЫХ ДОСТИЖЕНИЙ В ПРОИЗВОДСТВО

Евграфов А.В. Общественный экологический контроль состояния водоохраных зон города Москвы 111

Саргсян А.Е., Геращенко В.С., Борчев К.С. Обоснование достоверности разработанной расчетной модели свайного основания сооружения по данным натурных наблюдений..... 117

THE MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE
OF RUSSIAN FEDERATION

INTERNATIONAL ASSOCIATION
OF CONSTRUCTION
HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

**NEWS OF HIGHER
EDUCATIONAL INSTITUTIONS**

CONSTRUCTION

**Scientific-theoretical journal
Published since March 1958
Monthly**

N 6 (666)
June 2014

Editor-in-Chief V.G. Sebeshev, PhD, Prof.,
Honour. Mem. RAACS

Editorial Board:

- A.A. Afanasyev, DSc (Eng), Prof., Corr. Mem. RAACS
V.L. Baladinsky, DSc (Eng), Prof.
V.A. Vorobyov, DSc (Eng), Prof., Corr. Mem. RAACS
V.A. Ignatyev, DSc (Eng), Prof.
V.I. Kostin, DSc (Eng), Prof. (Deputy Editor-in-Chief)
G.B. Lebedev, PhD, Ass. Prof. (Deputy Editor-in-Chief)
Ye.M. Lobanov, DSc (Eng), Prof.
L.S. Lyakhovich, DSc (Eng), Prof., Acad. RAACS
V.I. Morozov, DSc (Eng), Prof.
Yu.P. Panibratov, DSc (Econ), Prof., Acad. RAACS
Yu.P. Pravdivetz, DSc (Eng), Prof.
V.G. Sebeshev, PhD, Prof., Honour. Mem. RAACS
Yu.A. Feofanov, DSc (Eng), Prof.
Ye.M. Chernyshov, DSc (Eng), Prof., Acad. RAACS

Responsible secretary N.V. Bitkina

The editorial office's address:

113 Leningradskaya St. Novosibirsk 630008
Phone number/fax +7 (383) 266 28 59
 www.sibstrin.ru E-mail: izvuz_str@sibstrin.ru

CONTENTS

BUILDING CONSTRUCTIONS

- Ponomarev A.B., Kaloshina S.V.** Determining the settlement of the foundations of the existing building under the influence of new construction 5

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

- Kharkhardin A.N.** Discreteness level of matter. Part 5 14
- Rakhimbayev S.M., Povalneva A.V.** Kinetics of cement concretes hardening after power efficient thermal treatment 21

- Pimenov A.I., Ibragimov R.A., Izotov V.S.** Influence carbon nanotubes and methods of administration on properties of cement compositions 26

- Savitskiy N.V., Pavlenko T.M., Abbasova A.R.** Properties of vibrovacuumized ash concrete 31

- Selyaev V.P., Neverov V.A., Kupriyashkina L.I., Selyaev P.V.** Influence fillers contain zeolite on strength and porosity of cement composites 36

- Loganina V.I., Kamberg V.G., Makarova L.V., Bodazhkov N.Yu.** The optimization of composition of dry construction mixes taking into account their cost 44

ECONOMICS AND MANAGEMENT OF CONSTRUCTION AUTOMATION AND CONSTRUCTION TECHNOLOGY

- Gruzin V.V., Abramenkov D.E., Gruzin A.V., Ugai V.V.** Improved technology boost subgrade buildings and facilities 51

SANITARY ENGINEERING

- Voitov E.L., Skolubovich Yu.L., Krutkov A.E.** The technology of cleaning and reusing wash water waterworks surface water sources 59
- Kulkov V.N., Solopanov E.Yu., Kudryavtseva E.V.** Use of information technology of mathematical modeling the biological wastewater treatment 66
- Kostin V.I., Karmishkina A.V.** Features of calculation of cooling capacity of control systems of a microclimate of a premises with the constant temperature of internal air 74
- Seryogina Yu.S., Shchukina T.V.** To the question of the choice of the heat exchanger for geothermal thermal pumps of direct evaporation 79

CONSTRUCTION OF MOTOR ROADS AND BRIDGES

- Dubenkov A.A.** Modeling of organizational and technological solutions in the subgrade construction projects on permafrost 87

SCIENTIFIC PROBLEMS OF ARCHITECTURE AND ECOLOGY

- Evgrafova I.M., lavrusevich A.A.** To correct the screen size question the validity of the environmental zone 94

SCIENTIFIC AND METHODICAL SECTION

- Ofrikhter V.G., Ofrikhter I.V.** Municipal solid waste improvement by the method of dynamic compaction 101

MANUFACTURING APPLICATION OF SCIENTIFIC DEVELOPMENTS

- Evgrafov A.V.** Public ecological monitoring of water protection zones Moscow city 111
- Sargsian A.E., Geraschenko V.S., Borchev K.S.** Justification for reliability of 3D-calculation model of pile foundation for the structure of in-situ observations 117

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

УДК 624.131

А.Б. ПОНОМАРЕВ, С.В. КАЛОШИНА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСАДОК ФУНДАМЕНТОВ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ЗДАНИЯ ПРИ ВЛИЯНИИ НА НЕГО НОВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Приведены результаты модельного и численного эксперимента влияния разработки котлована открытым методом на дополнительную осадку существующего здания, возведенного на ленточном фундаменте. Представлены значения дополнительной технологической осадки основания существующего здания в зависимости от расстояния между существующим и возводимым зданием и глубины заделки ограждающих конструкций котлована.

Ключевые слова: дополнительная осадка, существующее здание, возводимое здание, разработка котлована.

Подземное строительство неизменно сопровождает процесс развития больших городов. Без подземных сооружений в виде коллекторов, дорожных развязок, переходов, автостоянок сложно представить современный город. Развитие подземного строительства повышает степень использования строительного участка, позволяет разместить в подземной части здания технологическое оборудование. Прежде всего необходимость в освоении подземного пространства существует в центральной части больших городов, где высока стоимость земельных участков и преобладает плотная застройка. В связи с этим, подземное строительство всегда связано с проведением ряда дополнительных мероприятий по защите подземной части существующих зданий и сооружений.

Как показывает практика строительства в условиях плотной городской застройки, существующее здание может получить значительную дополнительную осадку уже на этапе разработки котлована под вновь возводимый объект. Таким образом, строительство в условиях плотной городской застройки требует применения таких технологий ограждения котлованов и методов разработки грунта в выемках, которые могли бы обеспечить сохранность окружающей застройки, коммуникаций, транспортных магистралей [1–3].

По способу строительства подземная часть здания может быть возведена закрытым, открытым и полузакрытым способами. Полузакрытый и закрытый способы оказывают меньшее влияние на существующую застройку, однако в настоящее время значительная часть подземных и заглубленных сооружений устраивается открытым методом [4–7]. Поэтому в данной статье авторами рассмотрен открытый метод разработки котло-

вана и его влияние на дополнительные осадки основания существующей застройки.

На первом этапе по теме исследования был поставлен модельный эксперимент. Целью его проведения явилось установление основных закономерностей получения дополнительной осадки основания существующего здания от хода разработки котлована с учетом расстояния между ними L и глубины заделки ограждающей конструкции котлована h_3 . В качестве существующей застройки принято 5-этажное здание с продольными несущими стенами на ленточном фундаменте. Нагрузка на обрез фундамента составила 300 кН.

Модельный эксперимент проводился с использованием стендовой установки для испытания моделей фундамента компании «Геотек» на базе лаборатории кафедры «Строительное производство и геотехника» Пермского национального исследовательского политехнического университета (рис. 1). Стенд представляет собой лоток с прозрачными передней 1 и задней 2 стенками, выполненными из оргстекла толщиной 50 мм. Для ис-

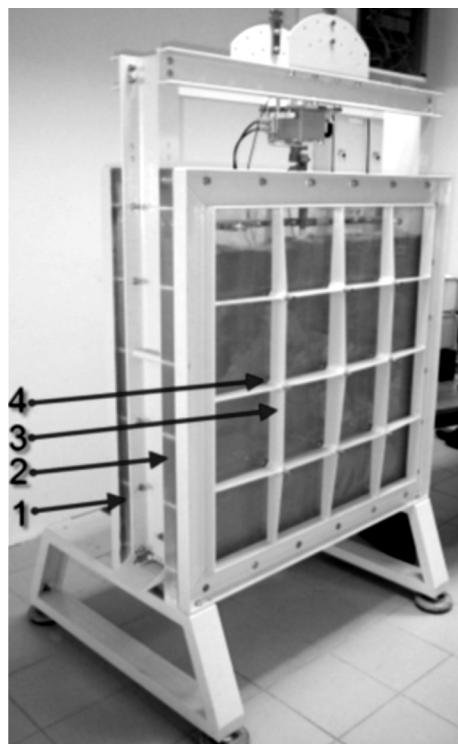
ключения прогиба стенки из оргстекла усилены стальными решетками 3, в узлах которых находятся опорные шайбы 4. Лоток имеет следующие размеры: длина 722, ширина 156, высота 536 мм.

Исходя из размеров стендовой установки масштаб модельного эксперимента был принят 1:50. Ленточный фундамент существующего здания моделировался при помощи плоского штампа, вертикальная нагрузка на который передавалась посредством пневмоцилиндра. Автоматизация процесса проведения испытаний осуществлялась программой «АСИС 3.2», позволяющей фиксировать вертикальные перемещения штампа в ходе эксперимента. Нагрузка на штамп в масштабе эксперимента составляла 6 кН, что соответствует 300 кН в натурных условиях.

Всего было проведено 3 серии экспериментов при расстоянии L между существующим и возводимым зданием 1,5; 14; 27 м, что соответствует в масштабе эксперимента 30, 280, 540 мм. Для возможности статистической обработки данных каждый опыт повторялся 3–5 раз.

Рис. 1. Стендовая установка компании «Геотек»

В каждой серии эксперимента оставались постоянными такие параметры, как расстояние от ограждающей конструкции до существующей застройки L , нагрузка на фундамент существующего здания P и глубина



разработки котлована H . Варьировалась глубина заделки ограждающей конструкции ниже дна котлована h_3 , которая принималась равной 1,5; 5,5 и 9 м, что в масштабе эксперимента составляет 30, 110 и 180 мм [8].

Схема стеновой установки приведена на рис. 2. Ограждающая конструкция разрабатываемого котлована была выполнена из жесткого полимерного материала, не работающего при заданных нагрузках на изгиб. Дополнительная осадка основания фундамента существующего здания от устройства ограждения котлована в ходе эксперимента не фиксировалась. Ограждение устанавливалось в пустом лотке, с последующим его заполнением песком средней крупности, просушенным до воздушно-сухого состояния. Песок укладывался слоями толщиной 2 см, с уплотнением каждого слоя трамбовкой. Плотность укладки контролировалась статическим плотномером СПГ-1.

После устройства основания и ограждающих конструкций котлована передавалась нагрузка на плоский штамп, имитирующий фундамент существующего здания. После стабилизации собственной осадки штампа моделировалась поясная разработка грунта с выдерживанием интервала времени, равного 15 мин, для стабилизации дополнительной осадки штампа в процессе разработки котлована. Высота яруса разработки была принята 20 мм (1 м в натурных условиях). В ходе разработки котлована для предотвращения крена ограждающих конструкций котлована на глубине 60 и 120 мм (3 и 6 м в натурных условиях) устанавливались распорки (см. рис. 2).

После обработки данных модельного эксперимента с помощью программы «Статистика 6.0» были получены зависимости осадки основания существующей застройки от глубины разрабатываемого котлована с учетом расстояния между существующим зданием и котлованом L и глубины заделки ограждающей конструкции котлована h_3 .

В качестве примера на рис. 3 приведена зависимость дополнительной осадки существующей застройки $Sad.t$ от хода разработки котлована для эксперимента 1-й серии при глубине заделки ограждающей конструкции $h_3 = 30$ мм и расстоянии между существующим зданием и котлованом $L = 30$ мм.

После умножения значений дополнительной осадки основания ленточного фундамента $Sad.t$, установленной в ходе эксперимента, на масштабный коэффициент 50 были получены предполагаемые натурные значения осадки ленточного фундамента с нагрузкой на обрез фундамента 300 кН.

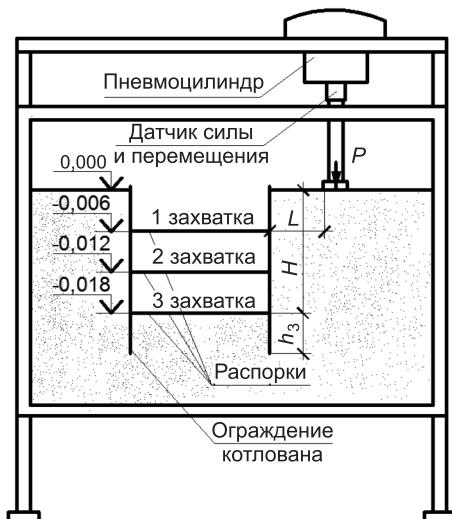


Рис. 2. Схема устройства котлована открытым методом с двумя уровнями распорок и заделкой ограждения h_3 ниже отметки дна котлована

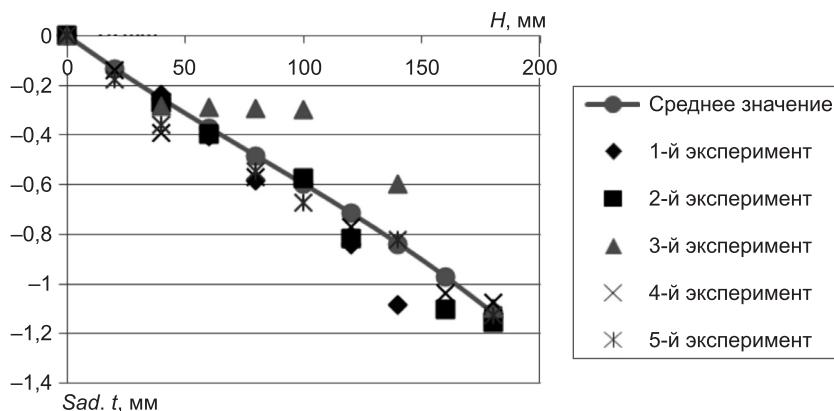


Рис. 3. График зависимости осадки жесткого штампа от хода разработки котлована при глубине заделки ограждающей конструкции $h_3 = 30$ мм, расстоянии между существующим зданием и котлованом $L = 30$ мм

На втором этапе был поставлен численный эксперимент в программном комплексе Plaxis 8.0. В численном эксперименте, как и в модельном, проведено три серии опытов.

Задача влияния разработки котлована на существующую застройку была рассмотрена в плоской постановке. В качестве ограждения котлована принята железобетонная «стена в грунте» толщиной 0,6 м, моделируемая в программном комплексе Plaxis 8.0 с помощью стержневых элементов эквивалентной жесткости (табл. 1). Ленточный фундамент существующего здания определялся как линейно-упругий непористый материал (табл. 2).

Таблица 1. Характеристики материала конструкции «стена в грунте»

Параметр	Значение
Нормальная жесткость, кН	$8,2 \times 10^6$
Изгибающая жесткость, кН / м ²	$0,26 \times 10^6$
Удельный вес, кН / м ³	24
Коэффициент Пуассона	0,17

Таблица 2. Характеристики материала конструкции существующего фундамента

Параметр	Значение
Модуль упругости, МПа	$1,7 \times 10^4$
Удельный вес, кН / м ³	24
Коэффициент Пуассона	0,17

Грунтовый массив моделировался при помощи модели упрочняющегося грунта. Для возможности сопоставления данных модельного и численного эксперимента при постановке численного эксперимента в качестве грунтового основания фундаментов существующего здания был также принят песок средней плотности. Параметры свойств грунтового

Таблица 3. Физико-механические свойства грунта, задаваемые в программном комплексе Plaxis 8.0

Грунтовое основание	Удельное сцепление c , кН/м ²	Угол внутреннего трения ϕ , град.	Угол дилатанции ψ , град.	Секущий модуль деформации E_{50}^{ref} , кН/м ²	Одометрический модуль деформации E_{0ed}^{ref} , кН/м ²	Модуль деформации при разгрузке E_{ur}^{ref} , кН/м ²	Показатель степени зависимости жесткости грунта от уровня напряжений m
Песок средней плотности	1	35	5	45000	45000	180000	0,5

основания, используемые в программном комплексе Plaxis 8.0, приведены в табл. 3.

Этапы расчета в программном комплексе Plaxis 8.0 выполнялись в следующей последовательности:

- I — нагружение существующего фундамента;
- II — активация (устройство) ограждения котлована;
- III — разработка грунта на первой захватке;
- IV — устройство распоров и разработка грунта на второй захватке;
- V — разработка грунта на третьей захватке.

Для иллюстрации выполненных расчетов в качестве примера на рис. 4 приведена расчетная схема для V этапа.

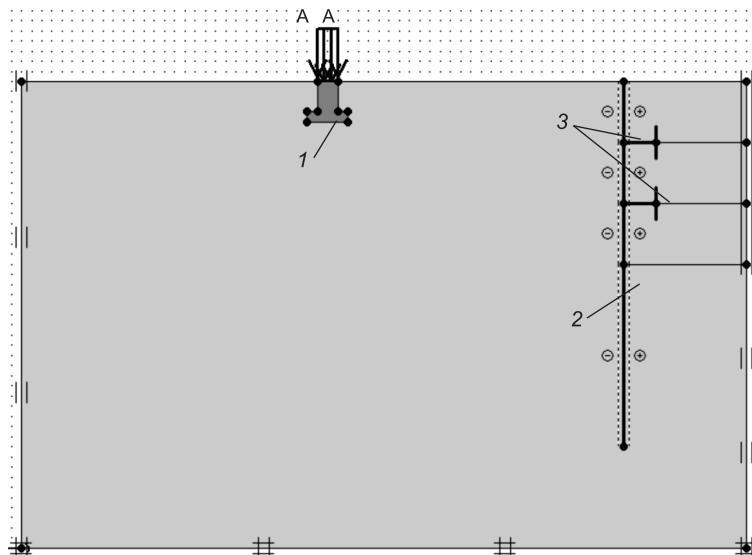
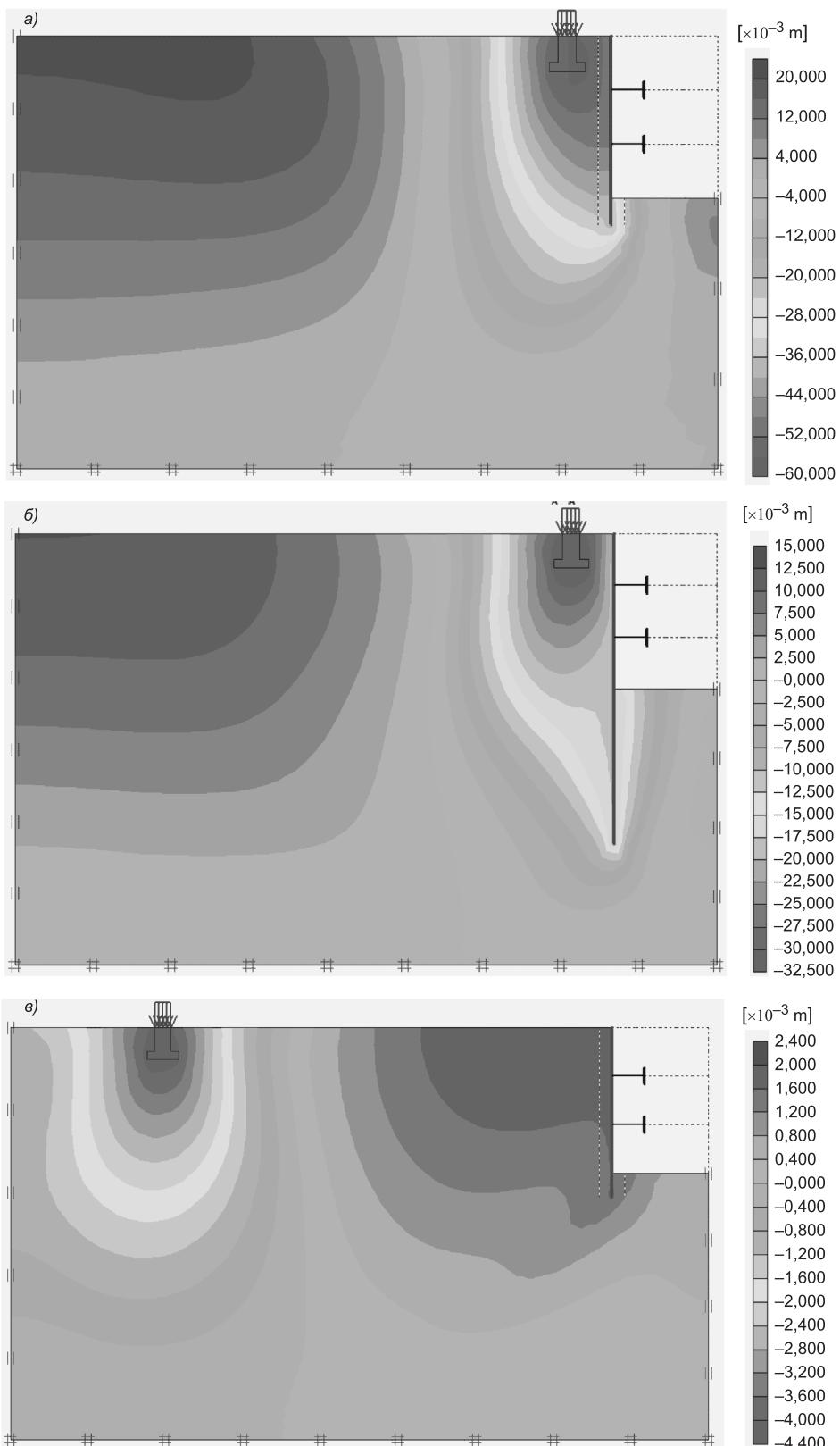


Рис. 4. Расчетная схема, принятая в программном комплексе Plaxis 8.0

1 — фундамент существующей застройки; 2 — ограждение котлована;
3 — распорные конструкции

На рис. 5 представлены изополя вертикальных перемещений, полученные в ходе численного моделирования. Наибольшая дополнительная технологическая осадка достигается при минимальном расстоянии до существующей застройки $L = 1,5$ м и наименьшей принятой глубине заделки ограждающей конструкции котлована $h_3 = 1,5$ м. При значительном расстоянии от разрабатываемого котлована до существующей застройки



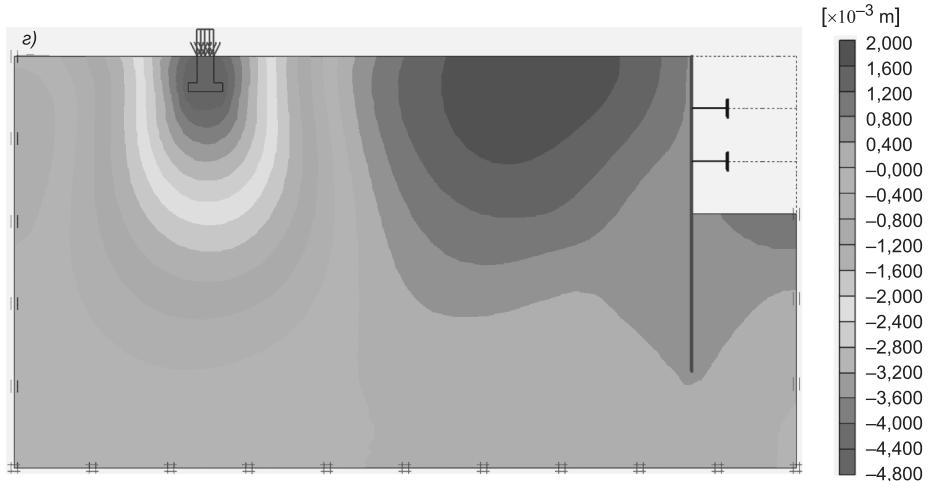


Рис. 5. Изополя вертикальных перемещений после разработки грунта в котловане под вновь возводимое здание

а — $L = 1,5$ м; $h_3 = 1,5$ м; б — $L = 1,5$ м; $h_3 = 9,0$ м; в — $L = 27$ м; $h_3 = 1,5$ м; г — $L = 27$ м; $h_3 = 9,0$ м

глубина заделки ограждения котлована h_3 не влияет на дополнительную осадку основания существующего здания. Результаты численного и модельного эксперимента сведены в табл. 4.

Таблица 4. Значения дополнительной технологической осадки основания существующей застройки $Sad.t$, мм

Глубина заделки ограждения h_3 , м	Значения дополнительной технологической осадки $Sad.t$ (мм) при расстоянии от существующей застройки до котлована L , м					
	модельный эксперимент			численный эксперимент		
	$L = 1,5$	$L = 14$	$L = 27$	$L = 1,5$	$L = 14$	$L = 27$
1,5	55,91	9,84	0,96	57,9	13,2	4,1
5,5	31,35	10,18	1,17	34,6	12,8	4,1
9,0	24,19	9,24	1,23	31,2	11,6	4,2

Сопоставляя полученные данные, можно видеть, что при расстоянии от существующей застройки до разрабатываемого котлована от 1,5 до 14 м расхождения значений дополнительной технологической осадки, полученные в ходе модельного и численного эксперимента, не превышают 30 %. Результаты численного моделирования завышены по отношению к результатам модельного эксперимента. Таким образом, расчетная схема, принятая в ходе численного моделирования, применима для решения аналогичных задач влияния нового строительства на существующую застройку.

Выводы. 1. В ходе модельного и численного эксперимента получены одинаковые закономерности изменения дополнительной технологической осадки основания существующего здания (расхождение численных значений при расстоянии от существующей застройки до разрабатываемого котлована от 1,5 до 14 м не превышает 30 %).

2. При малых расстояниях между существующим зданием и разрабатываемым котлованом $L < 1,5H$ увеличение глубины заделки ограждающей конструкции котлована h_3 приводит к уменьшению дополнительной технологической осадки существующего здания. Так, при расстоянии ме-

жду существующим и возводимым зданием $L = 1,5$ м с увеличением глубины заделки ограждения котлована h_3 от значений 0,2 до 1Н значения дополнительной технологический осадки существующего здания на ленточных фундаментах уменьшаются в среднем на 13,5 %.

3. При расстояниях между существующим зданием и разрабатываемым котлованом $L > 1,5H$ величина заделки ограждающей конструкции котлована h_3 не влияет на значения дополнительной технологической осадки существующего здания. Незначительные расхождения в значениях дополнительной осадки, полученные в ходе экспериментов, не превышают 2 %.

4. Согласно СП 22.13330.2011 предельно допустимая осадка для многоэтажного бескаркасного здания с несущими стенами из крупных блоков или кирпичной кладки без армирования в зависимости от категории технического состояния здания не должна превышать 10–40 мм. Таким образом, полученные значения дополнительной технологической осадки при рассмотренных входных параметрах (см. табл. 5) превышают предельно допустимые значения при глубине заделки ограждения 1,5 м и при расстоянии от существующей застройки до котлована, равному 1,5 м. В остальных случаях значения дополнительной технологической осадки основания существующей застройки не превышают максимальную, предельно допустимую осадку.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Калошина, С.В. Наиболее значимые факторы строительства при возведении зданий в стесненных условиях [Текст] / С.В. Калошина, А.Б. Пономарев // Изв. Орлов. гос. техн. ун-та. Сер.: Стр-во и транспорт. — 2007. — № 1–13. — С. 7–10.
2. Калошина, С.В. К вопросу определения предельно допустимых деформаций существующих зданий при новом строительстве [Текст] / С.В. Калошина, М.А. Безгодов // Вестн. ПГТУ. Стр-во и архитектура. — 2011. — № 1. — С. 5–9.
3. Bartolomei, A.A. Experimental investigations and prediction of settlements of conical-pile foundations [Текст] / A.A. Bartolomei, A.B. Ponomarev // Soil Mechanics and Foundation Engineering. — 2001. — Vol. 38, N 2. — P. 42–50.
4. Калошина, С.В. Анализ существующих методов расчета осадок зданий и напряженно-деформированного состояния оснований [Текст] / С.В. Калошина, А.Б. Пономарев, А.А. Богомолов // Вестн. Волгоград. гос. архитектурно-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архитектура. — Волгоград, 2008. — Вып. 9 (28). — С. 4–6.
5. Пономарев, А.Б. К вопросу прогноза напряжено-деформированного состояния оснований и осадок зданий [Текст] / А.Б. Пономарев, С.В. Калошина, Р.С. Нестеров // Актуальные проблемы геотехники : сб. ст., посвящ. 60-летию проф. А.Н. Богомолова / М-во образования и науки РФ, Волгоград. гос. архитектурно-строит. ун-т; Перм. нац. исслед. политехн. ун-т. — Волгоград : ВолгГАСУ, 2014. — С. 155–158.
6. Пономарев, А.Б. Результаты геотехнического моделирования влияния устройства глубокого котлована на существующую застройку [Текст] / А.Б. Пономарев, С.В. Калошина, А.В. Захаров, М.А. Безгодов, Р.И. Шенкман, Д.Г. Золотозубов // Вестн. ПНИПУ. Стр-во и архитектура. — 2014. — № 4. — С. 188–201.
7. Пономарев, А.Б. Оценка влияния возводимых плитных фундаментов на осадку зданий в условиях плотной застройки [Текст] / А.Б. Пономарев, С.В. Калошина // Основания, фундаменты и механика грунтов. — 2013. — № 5. — С. 13–16.
8. Илларионов, С.О. Изучение влияния объектов нового строительства на осадку основания существующей застройки на основе модельного эксперимента [Текст] / С.О. Илларионов, С.В. Калошина // Вестн. ПНИПУ. Урбанистика. — 2013. — № 4(12). — С. 116–123.

*КАЛОШИНА Светлана Валентиновна, канд. техн. наук, доц.; E-mail: spstf@pstu.ru
Пермский национальный исследовательский политехнический университет*

Получено после доработки 29.05.14

Ponomarev Andrey Budimirovich, doctor of technical sciences, professor; E-mail: spstf@pstu.ru, Perm National Research Polytechnical University, Russia

Kaloshina Svetlana Valentinovna, candidate of technical sciences, assistant professor, Perm National Research Polytechnical University, Russia

DETERMINING THE SETTLEMENT OF THE FOUNDATIONS OF THE EXISTING BUILDING UNDER THE INFLUENCE OF NEW CONSTRUCTION

In the paper the results of the modeling and numerical experiment influence the development of the open pit method on additional settling of the existing building, erected on tape Foundation. The values given additional technological precipitation foundations of the existing building depending on the distance between the existing and constructed a building and depth of seal enclosing structures of the pit.

Key words: additional sediment, the existing building, erected building, development of the pit.

REFERENCES

1. Kaloshina, S.V. Most significant factors of construction for buildings in cramped conditions [Text] / S.V. Kaloshina, A.B. Ponomarev // Proceedings of Oryol state technical University. Series: Construction and transport. — 2007. — N 1–13. — P. 7–10.
2. Kaloshina, S.V. To a question of determination of the maximum allowable deformation of existing buildings for new construction [Text] / S.V. Kaloshina, M.A. Bezgodov // Bull. PSTU. Construction and architecture. — 2011. — N 1. P. 5–9.
3. Bartolomei, A.A. Experimental investigations and prediction of settlements of conical-pile foundations [Text] / A.A. Bartolomei, A.B. Ponomarev // Soil Mechanics and Foundation Engineering. — 2001. — Vol. 38, N 2. — P. 42–50.
4. Kaloshina, S.V. Analysis of the existing methods of calculation of sediment buildings and stress-deformed state of grounds [Text] / S.V. Kaloshina, A.B. Ponomarev, A.A. Bogomolov // Bull. VolgSABU. Ser.: Build and architect. — Volgograd, 2008. — Vol. 9 (28). — P. 4–6.
5. Ponomarev, A.B. To the question of the forecast of the stress-strain state of the bases and sediment buildings [Text] / A.B. Ponomarev, S.V. Kaloshina, R.S. Nesterov // Actual problems of Geotechnology : Proc. of art. The 60-th anniversary of prof. A.N. Bogomolov / Ministry of education and science Russian Federation, Volgograd. state architectural-building. University, Perm national research polytechnical university. — Volgograd : VolgSABU, 2014. — P. 155–158.
6. Ponomarev, A.B. The results of geotechnical modeling devices deep excavation on existing buildings [Text] / A.B. Ponomarev, S.V. Kaloshina, A.V. Zakharov, M.A. Bezgodov, R.I. Shenkman, D.G. Zolotozubov // Bull. PNRPU. Construction and architecture. — 2014. — N 4. — P. 188–201.
7. Ponomarev, A.B. Assessment of the impact of constructed slab foundations on subsidence of buildings in the conditions of dense construction [Text] / A.B. Ponomarev, S.V. Kaloshina // Foundations, basements and mechanics of grounds. — 2013. — N 5. — P. 13–16.
8. Illarionov, S.O. Explore the impact of new construction on a deposit base of existing buildings on the basis of the model experiment [Text] / S.O. Illarionov, S.V. Kaloshina // Bull. PNRPU. Urban studies. — 2013. — N 4(12). — P. 116–123.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 691.001

А.Н. ХАРХАРДИН

АНАЛИЗ УРОВНЕЙ ДИСКРЕТНОСТИ ВЕЩЕСТВА

Часть 5¹⁻⁴

Приводятся математический анализ уровней дискретности простых веществ и модели последовательного вложения атомов в кластеры, кластеров в блоки и блоков в кристаллические образования при их слиянии. Показан метод разбиения (разделения) кристаллических образований на элементы дискретности вещества с границей раздела между ними для получения критических размеров кластеров, микро- и наночастиц.

Ключевые слова: дисперсные и кристаллические вещества, кластеры,nano- и микрочастицы, критический размер.

Главные уровни дискретности вещества ранее были определены по критическим размерам элементов его дискретности в интервалах по $n = 0,1,2,3\dots$:

$$(3,923\eta_1)^n d \leq D \leq 3,923^n \eta_1 d. \quad (1)$$

В эти интервалы укладываются критические размеры микро- и наночастиц, определяемые по критической плотности их упаковки, которую легко измерить в процессе «сухого и мокрого» способов предельного измельчения материалов и рассчитать по плотности упаковки η_1 монодисперсных крупных сферических частиц размером d либо использовать ее известную величину для простых веществ, например, металлов с различной систематической (регулярной) укладкой атомов диаметром d . Размеры первичных и последующих кластерных образований в модели последовательного вложения типа «кластеры в кластере» определим с использованием первой критической плотности упаковки элементов дискретности вещества $\eta_{c1} = \eta_1^{(9\dots15)/3}$ [1] из уравнений вида:

$$D_1 \leq 60,38\eta_{c1}\eta_1^k d \leq 60,38\eta_1^{n'}\eta_1^k d, \quad (2)$$

¹ См.: Хархардин А.Н., Строкова В.В., Кожухова Н.И. Принципы атомной упаковки кластеров и топологические состояния поверхностных слоев безлигандных nano- и микрочастиц. Часть 1 // Изв. вузов. Строительство. 2014. № 2. С. 5–10.

² См.: Хархардин А.Н., Строкова В.В., Кожухова Н.И. Вывод уравнений для критических размеров кластеров, nano- и микрочастиц. Часть 2 // Изв. вузов. Строительство. 2014. № 3. С. 14–21.

³ См.: Хархардин А.Н. Математические модели вложения и разбиения образований на элементы дискретности вещества. Часть 3 // Изв. вузов. Строительство. 2014. № 4. С. 23–29.

⁴ См.: Хархардин А.Н. Главные уровни дискретности вещества. Часть 4 // Изв. вузов. Строительство. 2014. № 5. С. 13–20.

© Хархардин А.Н., 2014

$$D_2 \leq 60,38 \eta_{c1} D_1 \leq 60,38^2 \eta_1^{n'} \eta_2^{n'} d, \quad (3)$$

$$D_2 \leq 60,38 \eta_{c1} \eta_i^k D_1 \leq 60,38^2 \eta_1^{n'} \eta_2^{n'} \eta_i^k d, \quad (4)$$

$$D_2 \leq 60,38 \eta_{c1} \eta_1^k D_1 \leq 60,38^2 \eta_1^{n'} \eta_2^{n'} \eta_1^k \eta_2^k d, \quad (5)$$

где $\eta_i^k = \eta_1^k$ — при регулярной укладке элементов дискретности, $\eta_i^k = \eta_2^k$ — при случайной их упаковке, где $k = 0$ — при слиянии кластеров в большой кластер, $k = 1$ — при разъединении кластеров до регулярной или произвольной их упаковки.

Из левой части выражения (1) при $n = 0$, $\eta_1 = \eta_2 = \eta_i$ имеем *нулевой уровень дискретности вещества*, где $D_0 = d$, d — диаметр атома.

Первый уровень дискретности вещества. При $\eta_1 = 0,7405$, $\eta_1 = 0,6403$ и $\eta_1 = 0,64976$, а $n' = 5$, $n' = 10/3$ и $n' = 3,5$ соответственно из выражения (2) получим первый уровень дискретности вещества с размером наночастиц, проявляющих необычное изменение физических свойств:

$$D_1 \leq 60,38 \cdot 0,7405^5 \cdot 0,3 \leq \mathbf{4 \text{ нм}},$$

$$D_1 \leq 60,38 \cdot 0,64976^{10,5/3} \cdot 0,3 \leq 4 \text{ нм},$$

$$D_1 \leq 60,38 \cdot 0,7405^5 \cdot 0,64976 \cdot 0,3 \leq 2,62 \text{ нм},$$

$$D_1 \leq 60,38 \cdot 0,64976^{3,5} \cdot 0,64976 \cdot 0,3 \leq 2,60 \text{ нм}.$$

Второй уровень дискретности вещества.

$$D_2 \leq 60,38^2 \eta_1^{2n'} d \leq 3645 \cdot 0,7405^{10} \cdot 0,3 \leq \mathbf{54 \text{ нм}},$$

$$D_2 \leq 60,38^2 \eta_1^{2n'} \eta_1^k d \leq 3645 \cdot 0,7405^{11} \cdot 0,3 \leq \mathbf{40 \text{ нм}},$$

$$D_2 \leq 60,38^2 \eta_1^{2n'} \eta_2^k d \leq 3645 \cdot 0,7405^{10} \cdot 0,6403 \cdot 0,3 \leq 34,7 \text{ нм},$$

$$D_2 \leq 60,38^2 \eta_1^{2n'} \eta_2^k d \leq 3645 \cdot 0,7405^{10} \cdot 0,64976 \cdot 0,3 \leq 35,2 \text{ нм}.$$

Размер микрочастиц на третьем уровне дискретности вещества, согласно расчету (2)–(5), находится в пределах $0,256 \leq D_3 \leq 0,730$ мкм, на четвертом уровне — $2,55 \leq D_4 \leq 9,79$ мкм.

Пятый уровень дискретности вещества.

$$D_5 \leq 60,38^5 \eta_1^{5n'} d \leq 8,02334 \cdot 10^8 \cdot 0,7405^{25} \cdot 0,3 \text{ нм} \leq \mathbf{0,132 \text{ мм}},$$

$$D_5 \leq 60,38^5 \eta_1^{5n'} \eta_1^k d \leq 8,02334 \cdot 10^8 \cdot 0,7405^{26} \cdot 0,3 \text{ нм} \leq 0,098 \text{ мм},$$

$$D_5 \leq 60,38^5 \eta_1^{5n'} \eta_2^k d \leq 8,02334 \cdot 10^8 \cdot 0,7405^{25} \cdot 0,6403 \cdot 0,3 \text{ нм} \leq 0,085 \text{ мм},$$

$$D_5 \leq 60,38^5 \eta_1^{5n'} \eta_1^k \eta_2^k d \leq 8,023 \cdot 10^8 \cdot 0,7405^{26} \cdot 0,6403 \cdot 0,3 \text{ нм} \leq 0,063 \text{ мм},$$

$$D_5 \leq 60,38^5 \eta_1^{5n'} \eta_1^{2k} \eta_2^k d \leq 8,02 \cdot 10^8 \cdot 0,7405^{27} \cdot 0,6403 \cdot 0,3 \text{ нм} \leq 0,046 \text{ мм},$$

$$D_5 \leq 60,38^5 \eta_1^{5n'} \eta_1^{3k} \eta_2^k d \leq 8,02 \cdot 10^8 \cdot 0,7405^{28} \cdot 0,6403 \cdot 0,3 \text{ нм} \leq 0,034 \text{ мм},$$

$$D_5 \leq 60,38^5 \eta_1^{5n'} \eta_1^{4k} \eta_2^k d \leq 8,02 \cdot 10^8 \cdot 0,7405^{29} \cdot 0,6403 \cdot 0,3 \text{ нм} \leq 0,025 \text{ мм},$$

$$D_5 \leq 60,38^5 \eta_1^{5n'} \eta_1^{4k} \eta_2^k d \leq 8,02 \cdot 10^8 \cdot 0,7405^{29} \cdot 0,6498 \cdot 0,3 \text{ нм} \leq 0,026 \text{ мм},$$

$$D_5 \leq 60,38^5 \eta_1^{5n'} \eta_1^{5k} d \leq 8,02 \cdot 10^8 \cdot 0,7405^{30} \cdot 0,3 \text{ нм} \leq 0,0295 \text{ мм}.$$

Из этих вычислений следует, что пятый уровень определяет предельные размеры ячейки сит для ситового анализа тонкодисперсных материалов, а кулоновское взаимодействие между элементами дискретности вещества — между его частицами заканчивается на шестом уровне его дискретности с их размером $0,25 \leq D_6 \leq 1,77$ мм.

Используем вторую критическую плотность упаковки элементов дискретности вещества $\eta_{c2} = \eta_i^{n''} = 0,1$ [1] для расчета размеров нано- и микрочастиц на уровнях и подуровнях в системах «последовательного вложения».

$$D_1 \leq 60,38 \eta_{c2} \eta_1^k d \leq 60,38 \eta_1^{n''} \eta_1^k d, \quad (6)$$

$$D_2 \leq 60,38 \eta_{c2} \eta_1^k D_1 \leq 60,38^2 \eta_1^{n''} \eta_2^{n''} \eta_1^k \eta_2^k d, \quad (7)$$

$$D_2 \leq 60,38 \eta_{c2} D_1 \leq 60,38^2 \eta_1^{n''} \eta_2^{n''} \eta_2^k d, \quad (8)$$

где $n'' = (18; 18,5; 19; 23)/3$ — для систематических (регулярных) укладок элементов дискретности вещества с плотностью их упаковки $\eta_1 = 0,6802; 0,6883; 0,6981; 0,7405$ соответственно; $n'' = (13,5; 15; 16)/3$ — для случайных их упаковок с плотностью $\eta_1 = 0,60377\dots 0,63716\dots 0,64976$ соответственно, где

$$D \leq \left(\frac{10\eta_1}{10\eta_{c2}} \right)^3 d \leq \left(\frac{\eta_1}{0,1} \right)^3 d \leq 1000 \eta_1^3 d \leq 1000 \eta_{c1} d.$$

Выражения (7), (8) при $\eta_1 = \eta_2 = \eta_3 \dots \eta_n$ имеют вид:

— без границы раздела между кластерами; $k = 0$, $\eta_1^k = \eta_2^k = 1$:

$$D_2 \geq 3645,4 \eta_1^{2n''} d; \quad (9)$$

— с границей раздела между кластерами; $k = 1$, $\eta_1^k = \eta_2^k = \dots \eta_i^k$:

$$D_2 \geq 3645,4 \eta_1^{2n''} \eta_1^k \eta_2^k \geq 3645,4 \eta_1^{2(n''+1)} d; \quad (10)$$

— с разбиением (с разделением) только больших блоков или кластеров на меньшие блоки или кластеры:

$$D_2 \geq 3645,4 \eta_1^{2n''} \eta_1^k d \geq 3645,4 \eta_1^{2n''+1} d, \quad (11)$$

где η_1, η_2 — плотность упаковки первичных элементов дискретности (атомов, молекул) в объеме первичных кластеров и плотность упаковки первичных кластеров соответственно,

η_i — плотность разбиения (разъединения) больших элементов дискретности на меньшие с плотностью их систематической упаковки $\eta_i = \eta_1 = 0,7405\dots 0,6802$ и со случайной их упаковкой $\eta_i = \eta_2 = 0,64976; 0,6403; (0,63716; 0,634053)$.

Коэффициент 3645,4 совпадает с величиной длины волны линейного спектра атома водорода — границы серии Бальмера ($\lambda = 3645,6$) [2].

Первый уровень дискретности вещества. При $\eta_1 = 0,7405$, $n = 23/3$ и $d = 0,3$ нм из выражения (6) получим размеры вторичных элементов дискретности вещества первого уровня:

$$D_1 \geq 60,38 \cdot 0,7405^{23/3} \cdot 0,3 = \mathbf{1,8 \text{ нм}},$$

$$D_1 \geq 60,38 \cdot 0,7405^{23/3} \cdot 0,64976 \cdot 0,3 = 1,18 \text{ нм}.$$

Из выражений (6)–(11) получим размеры наночастиц второго уровня дискретности вещества.

Второй уровень дискретности вещества.

$$D_2 \leq 3645,4 \cdot 0,7405^{2(23/3)} \cdot 0,3 = \mathbf{10,9 \text{ нм}},$$

$$D_2 \leq 3645,4 \cdot 0,7405^{2(23/3+1)} \cdot 0,3 \leq 6 \text{ нм},$$

$$D_2 \leq 3645,4 \cdot 0,7405^{2 \cdot 23/3+1} \cdot 0,3 \leq 8 \text{ нм}.$$

При двухступенчатом вложении «малых кластеров в большой кластер» наличие границы раздела между малыми кластерами снижает размер большого кластера до 6 нм. Уменьшается и размер малых кластеров до 1,2–1,8 нм. При этом возможно проявление необычного изменения физических свойств малых и больших кластеров в результате их 2- и 3-слойности ($1,18 \text{ нм}/0,3 \text{ нм} \approx 4$; $1,81 \text{ нм}/0,3 \text{ нм} = 6$; $6 \text{ нм}/1,18 \text{ нм} \approx 8/1,81 = 4,47$ и $10,9 / 1,81 = 8/1,18 \approx 6$). В кластерах, состоящих из 3–12 атомных слоев, кулоновское взаимодействие является значительным: $D_2 = (12 \cdot 2 + 1) \cdot 0,3 = 7,5 \text{ нм}$ — второй уровень дискретности вещества.

Третий уровень дискретности вещества. Представляет интерес получение структур трехступенчатым вложением.

Размер кластеров третьего уровня образования структур будет равен:

$$D_3 \leq 60,38^3 \eta_1^{n''} \eta_2^{n''} \eta_1^k \eta_2^k D_2 \leq 60,38^3 \eta_1^{n''} \eta_2^{n''} \eta_3^{n''} \eta_1^k \eta_2^k \eta_3^k d \leq 220096 \cdot \eta_1^{3(n''+1)} d, \quad (12)$$

$$D_3 \leq 60,38 \eta_1^{n''} D_2 \leq 220096 \eta_1^{3n''} d \leq 220096 \eta_1^{3n''} d, \quad (13)$$

$$D_3 \leq 60,38 \eta_1^{n''} D_2 \leq 60,38^3 \eta_1^{n''} \eta_2^{n''} \eta_3^{n''} \eta_1^k \eta_2^k \eta_3^k d \leq 220096 \eta_1^{3n''+2} d, \quad (14)$$

$$D_3 \leq 60,38 \eta_1^n D_2 \leq 60,38^3 \eta_1^{n''} \eta_2^{n''} \eta_3^{n''} \eta_1^k d \leq 220096 \eta_1^{3n''+2} d. \quad (15)$$

Коэффициент 220096 входит в выражение для газового закона Авогадро [2]. Размер кластера третьего уровня образования «структур последовательного вложения» из выражений (12)–(15) при $\eta_1 = 0,7405$ и $d = 0,3$ нм будет равен:

$$D_3 \leq 220096 \eta_1^{3(n''+1)} d = 220096 \cdot 0,7405^{(3 \cdot 26/3)} \cdot 0,3 = 26,7 \text{ нм},$$

$$D_3 \leq 220096 \eta_1^{3n''} d = 220096 \cdot 0,7405^{(3 \cdot 23/3)} \cdot 0,3 = \mathbf{65,8 \text{ нм}},$$

$$D_3 \leq 220096 \eta_1^{3n''+2} d = 220096 \cdot 0,7405^{(3 \cdot 23/3+2)} \cdot 0,3 = 36,1 \text{ нм},$$

$$D_3 \leq 220096 \eta_1^{3n''+1} d = 220096 \cdot 0,7405^{(3 \cdot 23/3+1)} \cdot 0,3 = 48,8 \text{ нм}.$$

Размер кластеров четвертого уровня образования «структур последовательного вложения» при $\eta_1 = 0,7405$ и $d = 0,3$ нм находится в пределах $119 \leq D_4 \leq 397$ нм.

Девятый уровень дискретности вещества.

$$D_9 \leq 60,38^9 \eta_1^{9(n''+1)} d \leq 1,0662 \cdot 10^{16} \cdot 0,7405^{9(23/3+1)} \cdot 0,3 \text{ нм} \leq 0,21 \text{ мм},$$

$$D_9 \leq 60,38^9 \eta_1^{9n''} d \leq 1,0662 \cdot 10^{16} \cdot 0,7405^{9 \cdot 23/3} \cdot 0,3 \text{ нм} \leq \mathbf{3,2 \text{ мм}},$$

$$D_9 \leq 60,38^9 \eta_1^{9n''+8} d \leq 1,0662 \cdot 10^{16} \cdot 0,7405^{9 \cdot 23/3+8} \cdot 0,3 \text{ нм} \leq 0,29 \text{ мм}.$$

Как следует из результатов расчета, кулоновское взаимодействие частиц дисперсного сырья и материалов заканчивается на девятом уровне дискретности вещества. При этом размер частиц находится в пределах 0,21–3,2 мм в зависимости от размера первичного элемента дискретности и плотности вещества. Размер частиц на десятом уровне дискретности вещества находится в пределах 0,95–19 мм, а размер кристаллических блоков с наибольшей плотностью упаковки — 1,28 мм. Размер частиц на двенадцатом уровне дискретности вещества в структурах последовательного вложения находится в пределах $2,6 \text{ см} \leq D_{12} \leq 7 \text{ м}$, а средний размер блоков $D_{12} \leq 6,3 \text{ см}$.

Расчеты показывают, что размер наночастиц, получаемых из парогазовой ($0,4928 \geq \eta_1 \geq 0,3619$) фазы металлов, составляет $D \leq 20...5,2 \text{ нм}$, а из жидкой ($0,6655 \geq \eta_1 \geq 0,4928$) фазы $D \leq 113...31 \text{ нм}$.

Таким образом, размер растущих сферических наночастиц металлов, когда большую часть атомов можно отнести к поверхностным слоям, рассчитывают по формулам (2)–(6). Так, при $n = 1; 2$, $\eta_1 = \eta_2 \leq 0,7405$ и $d = 0,3 \text{ нм}$ получим:

$$D \leq 60,38 \cdot 0,7405^{3...10/3} d \leq 24,5...22,2 d \leq 7,4...6,7 \text{ нм},$$

$$D \leq (60,38 \cdot 0,7405^{3...10/3})^2 d \leq (600...492)0,3 \text{ нм} \leq 200...147 \text{ нм},$$

$$D \leq 60,38 \cdot 0,7405^{3...10/3} \cdot 60,38 \cdot 0,7405^{2...7/3} d \leq 811...734 d \leq 240...220 \text{ нм}.$$

Размер наночастиц, при котором проявляются необычные изменения их физических свойств, на первом и втором уровне дискретности вещества получают по формулам (2)–(5), (6), (8) при $n = 1$ с использованием показателей степени для первой и второй критической плотности упаковки элементов дискретности:

$$D \leq 60,38 \cdot 0,7405^{5...23/3} d \leq 13,4...6 d \leq 4,03...1,81 \text{ нм},$$

$$D \leq (60,38 \cdot 0,7405^5)^2 \cdot 0,7405^4 \cdot 0,6403 d \leq 34,8 \cdot 0,3 \text{ нм} \leq 10,4 \text{ нм},$$

$$D \leq 60,38 \cdot 0,7405^{5...23/3} \cdot 60,38 \cdot 0,7405^{(5...23/3)-1} d \leq$$

$$\leq 244...109 d \leq 73...32,8 \text{ нм}.$$

Расчеты показывают, что плотность упаковки атомов или микрочастиц в агрегациях, состоящих из первых трех слоев вокруг центрального атома, не превышает 0,64976, а при 10–12 слоях и более $\eta_1 \leq 0,74048$.

При сухом тонком механическом измельчении зернистых материалов в результате перераспределения электрических зарядов на поверхности микрочастиц происходит их агрегирование с образованием в слое сферических агрегаций и рыхлых структур [3]. При этом в грубом приближе-

ния можно определить размер микрочастиц для начала их агрегирования и критического измельчения. Так, из уравнений (2), (6) при $\eta_1 = 0,455 \dots 0,545 \dots 0,64976$ для кварцевого песка, имеющего размер элемента дискретности — тетраэдра оксида кремния 0,324 нм, получим:

— для первой критической точки при сухом способе измельчения

$$D_{c1} \leq (60,38\eta_1)^{3\dots10/3} d \leq (60,38 \cdot 0,55)^{3\dots10/3} \cdot 0,324 \text{ нм} \leq 12 \dots 38 \text{ мкм},$$

— для второй критической точки при мокром способе измельчения

$$D_{c2} \leq 1000\eta_1^{10/3} d \leq 1000 \cdot 0,6403^{10/3} \cdot 0,324 \leq 73 \text{ нм},$$

$$D_{c2} \leq 1000\eta_1^{10/3} d \leq 1000 \cdot 0,545^{10/3} \cdot 0,324 \leq 43 \text{ нм},$$

$$D_{c2} \leq 1000\eta_1^{(9\dots10)/3} \cdot d \leq 1000 \cdot 0,455^{(9\dots10)/3} \cdot 0,324 \leq 30,5 \dots 23,5 \text{ нм}.$$

Экспериментальное значение $D_{c2} = 27 \dots 30$ нм [4].

Следовательно, начало агрегирования микрочастиц при сухом способе измельчения кварцевого песка наступает тогда, когда их размер достигает величины ≈ 25 мкм, а при мокром способе измельчения средний критический размер его наночастиц будет равен $\approx 40 - 25$ нм.

Полученные формулы и уравнения позволили рассчитать критические размерыnano- и микрочастиц и их агрегаций для некоторых пигментов и строительных материалов: сажи газовой канальной, ультрамарина, диоксида титана в форме рутила и анатаза, кварца, мела — кальцита, извести гашеной и негашеной, портландцемента. Результаты расчета соответствуют экспериментальным и литературным данным по исследованию тонко- и ультрадисперсных веществ [5].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Хархардин, А.Н. Критический размер микро- и наночастиц, при котором проявляются их необычные свойства [Текст] / А.Н. Хархардин, В.В. Строкова, М.И. Кохухова // Изв. вузов. Строительство. — 2012. — № 10. — С. 109–115.
- Лесовик, Р.В. Фундаментальные физические константы в разработке экологических материалов с использованием нанотехнологий [Текст] // Здоровье населения — стратегия развития среди жизнедеятельности: Сб. ст. к общему собранию РААСН. — Белгород : Изд-во БГТУ, 2008. — Т. 2. — С. 368–377.
- Трунов, П.В. Влияние способа помола на энергоемкость изготовления и качественные характеристики композиционных вяжущих [Текст] / П.В. Трунов, Н.И. Алфимова, Я.Ю. Вишневская, Е.И. Евтушенко // Вестн. БГТУ им. В.Г. Шухова. — 2012. — № 4. — С. 37–40.
- Череватова, А.В. Минеральные наноструктурированные вяжущие [Текст] / А.В. Череватова, И.В. Жерновский, В.В. Строкова. — Lap Lambert Academic Publishing, 2011. — 170 с.
- Беленький, Е.Ф. Химия и технология пигментов [Текст] / Е.Ф. Беленький, И.В. Рискин. — 4-е изд. перераб. и доп. — Л. : Химия, 1974. — 656 с.

ХАРХАРДИН Анатолий Николаевич, д-р техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Получено 16.04.14

Kharkhardin Anatoly Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor, Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

DISCRETENESS LEVEL OF MATTER

Part 5

The mathematical analysis of discreteness levels for sample substances as well as the models of subsequent introduction of atoms in the clusters, the clusters into blocks and the blocks into crystal formations when their fusion are demonstrated. The method of separating of crystal formations into discreteness elements of matter with interface between them is shown.

Key words: dispersed and crystal substances, clusters, nano- and microparticles, critical size.

REFERENCES

1. Kharkhardin, A.N. The critical size for micro- and nanoparticles when their unique properties could be occurred [Text] / A.N. Kharkhardin, V.V. Strokova, M.I. Kozhukhova // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2012. — N 10. — P. 109–115.
 2. Lesovik, R.V. Fundamental physical constants when development of ecological materials with using of nanotechnologies [Text] // Health of population is strategy of development of environment of life activity: Proceeding of RAACS meeting. Belgorod : BSTU, 2008. — Vol. 2. — P. 368–377.
 3. Trunov, P.V. Effect of type of grinding on energy consumption of production and qualitative characteristics of composite binders [Text] / P.V. Trunov, N.I. Alfimova, Ya.Yu. Vishnevskaya, E.I. Evtushenko // Bull. of BSTU. — 2012. — N 4. — P. 37–40.
 4. Cherevatova, A.V. Mineral nanostructured binders [Text] / A.V. Cherevatova, I.V. Zhernovsky, V.V. Strokova. — Lap Lambert Academic Publishing, 2011. — 170 p.
 5. Belenky, E.F. Chemistry and technology of pigments [Text] / E.F. Belenky, I.V. Riskin. — L. : Chemistry, 1974. — 656 p.
-

УДК 691.32:666.97.015

Ш.М. РАХИМБАЕВ, А.В. ПОЛОВНЕВА

КИНЕТИКА ТВЕРДЕНИЯ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ ПОСЛЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ

Работа посвящена изучению энергоэффективных режимов тепловой обработки. Проведен сравнительный анализ тепловлажностной обработки (ТВО) с температурой теплоносителя 40 и 80 °С, а также изучено влияние режимов ТВО на дальнейший рост прочности мелкозернистого бетона, хранящегося в нормальных условиях. Показано, что бетон после ТВО при 40 °С набирает прочность при дальнейшем хранении с такой же интенсивностью, как бетон, не подвергавшийся ТВО. Образцы после ТВО при 80 °С твердеют при дальнейшем хранении хуже, их прочность в 2,5 раза ниже марочной.

Ключевые слова: тепловлажностная обработка, мелкозернистый бетон.

Интенсификация производства изделий из бетона и железобетона — одна из важнейших проблем [1], для ее решения необходимо применять комплекс мер: тепловлажностная обработка (ТВО) изделий, снижение водоцементного отношения бетонной смеси, введение пластификаторов, добавок ускорителей твердения [2, 3].

ТВО изделий из бетона и железобетона является основным способом интенсификации их производства. Температура теплоносителя при ТВО в нашей стране обычно составляет 80–90 °С, длительность ее — от 8 до 24 ч [4]. Это позволяет достигать до 70 % марочной прочности изделия в очень короткие сроки. Согласно общеизвестным положениям кинетики химических реакций, при повышении температуры на 10 °С скорость химических процессов увеличивается вдвое. В технической литературе много публикаций по кинетике твердения цементных бетонов, подвергнутых тепловой обработке и твердевших в нормальных условиях [4, 5]. В табл. 1 приведены данные, которые показывают влияние пропаривания при 100 °С на гравийный бетон состава 1:2:4 [4].

Таблица 1. Влияние условий твердения на прочность цементного раствора, кг/см²

Пропаривание при 100 °С			Влажный воздух 18 °С			
4 ч	16 ч	24 ч	1 сут	3 сут	7 сут	28 сут
118	184	209	65	200	266	371

Из таблицы видно, что прочность изделий, подвергнутых ТВО в течение 16–24 ч, равна 3-суточной прочности изделий, твердевших в нормальных условиях.

Представляет практический интерес кинетика твердения бетона, подвергнутого тепловлажностной обработке, а затем твердевшего в нормальных условиях. В табл. 2 приведена кинетика твердения мелкозернистого бетона состава 1:3, подвергнувшегося ТВО при 100 °С и в дальнейшем хранившегося в нормальных условиях в течение 28 сут [4].

Таблица 2. Влияние пропаривания при 100 °C на прочность цементного раствора, кг/см²

Цемент	Пропаривание при 100 °C в течение 16 ч, а затем хранение в воде при 22 °C до испытания			Твердение в нормальных условиях 22 °C		
	1 сут	7 сут	28 сут	1 сут	7 сут	28 сут
A	172	163	165	32	216	341
Б	225	254	258	20	134	310
В	190	184	199	82	239	477
Г	91	110	132	15	109	249

Из графика (рис. 1) видно, что образцы, которые были подвергнуты ТВО при 100 °C, набирают прочность слабо, а к 28 сут иногда происходит ее спад. Можно отметить, что прочность изделий после ТВО с температурой 80–100 °C является конечной, так как при последующем хранении в нормальных условиях отсутствует ее дальнейший рост. Образцы, твердевшие в нормальных условиях, набирают прочность очень интенсивно. Мелкозернистый бетон на цементах А, Г, твердевший в нормальных условиях, достигает прочности образцов, подвергшихся ТВО при 100 °C в течение 16 ч, уже на 3–4 сут, а их марочная прочность превосходит прочность пропаренных образцов в 2,5 раза.

Однако на современных заводах ЖБК при изготовлении бетонных и железобетонных изделий, особенно на полигонах, чаще всего при-

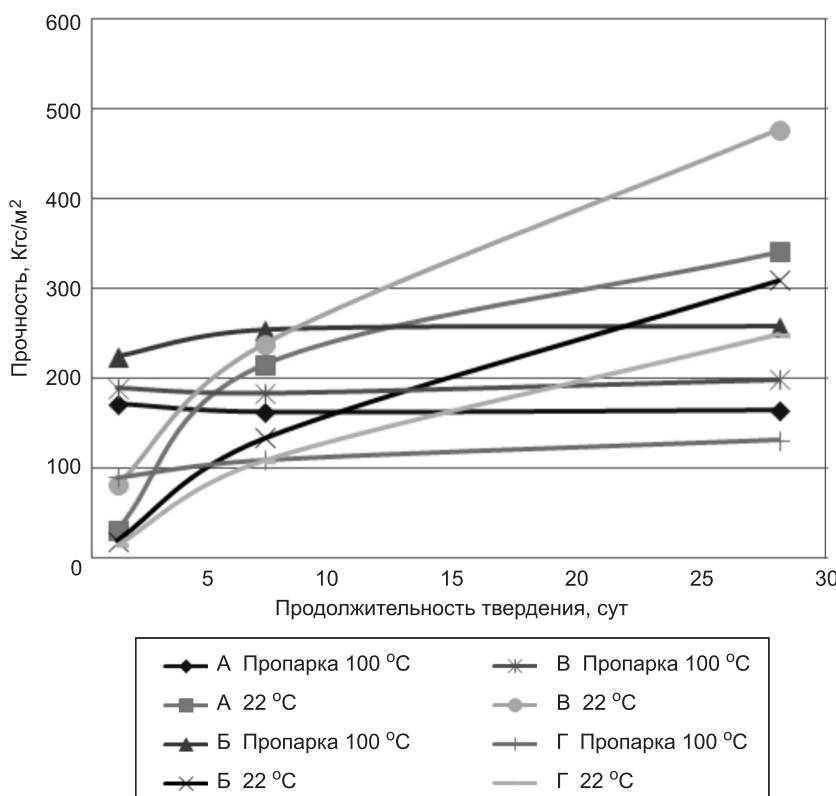


Рис. 1. Кинетика набора прочности мелкозернистого бетона в различных условиях твердения

меняется режим пропарки при 80–100 °С с продолжительностью изотермической выдержки 6–8 ч. В этой связи нами был проведен ряд экспериментов по изучению влияния тепловой обработки с температурой изотермической выдержки 40 и 80 °С и короткими режимами пропарки. ТВО проводилось по режиму 3+4+2, 3+6+2, 3+8+2. В работе изучалось влияние режима пропарки на два разных цемента: белгородский ЦЕМ I и турецкий ЦЕМ I. Минеральный состав цементов приведен в табл. 3.

Таблица 3. Минеральный состав используемых цементов, %

Клинкер	Содержание главных оксидов					Содержание основных минералов			
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	SO ₃	Fe ₂ O ₃	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
Белгородский цемент	64,1	20,1	5,5	3,7	3,3	66,3	7,6	8,5	11,1
Турецкий цемент	65,8	18,9	6,3	3,7	1,9	68,8	2,1	13,5	5,8

В качестве заполнителя использовался песок карьера «Майская заря» Курского месторождения с модулем крупности 1,6. После тепловой обработки образцы твердели в нормальных условиях. Образцы испытывались после 1, 3 и 7 сут твердения.

Видно, что нарастание прочности бетона, подвергшегося тепловой обработке при 80 °С, происходит слабо, особенно на высокоалюминатном цементе. Прочность бетона после такой обработки на рядовом белгородском цементе возрастает к 7 сут до 32,5 % по сравнению с прочностью в первые сутки, а на высокоалюминатном турецком цементе увеличивается от 2 до 20 % в зависимости от продолжительности изотермической выдержки.

Бетонные образцы после ТВО при 40 °С набирают прочность достаточно интенсивно до 7 сут. Прочность бетона на белгородском цементе к 7 сут увеличивается на 150 %, а на турецком — до 112 %. Прочность бетона, твердевшего в нормальных условиях, к 7 сут повышается в 4 раза по сравнению с прочностью в первые сутки.

Из графиков видно, что кинетика твердения бетона после ТВО с температурой изотермической выдержки 40 °С близка к нормальному твердению. Короткие режимы ТВО при 80 °С малоэффективны. Гораздо эффективнее при таких режимах применять 40-градусную тепловую обработку, так как прочность бетона, особенно на высокоалюминатном цементе, выше уже в первые сутки, и при последующем хранении бетон после низкотемпературной обработки очень интенсивно набирает прочность.

Такое поведение высокоалюминатного цемента Турецкого завода может быть обусловлено тем, что в нем во время предварительной выдержки образуется существенное количество этtringита, который в сравнительно жидкой системе кристаллизуется без отрицательного влияния на прочность. Его кристаллы имеют игольчатую форму, которые впоследствии армируют систему.

Когда производится пропарка изделий при 40 °С, этtringит остается в той же форме и не разлагается, а при высокотемпературной обработке с температурой теплоносителя 80 °С и выше он разлагается до моносульфата и свободного гидросиликата в уже затвердевшей системе, что отри-

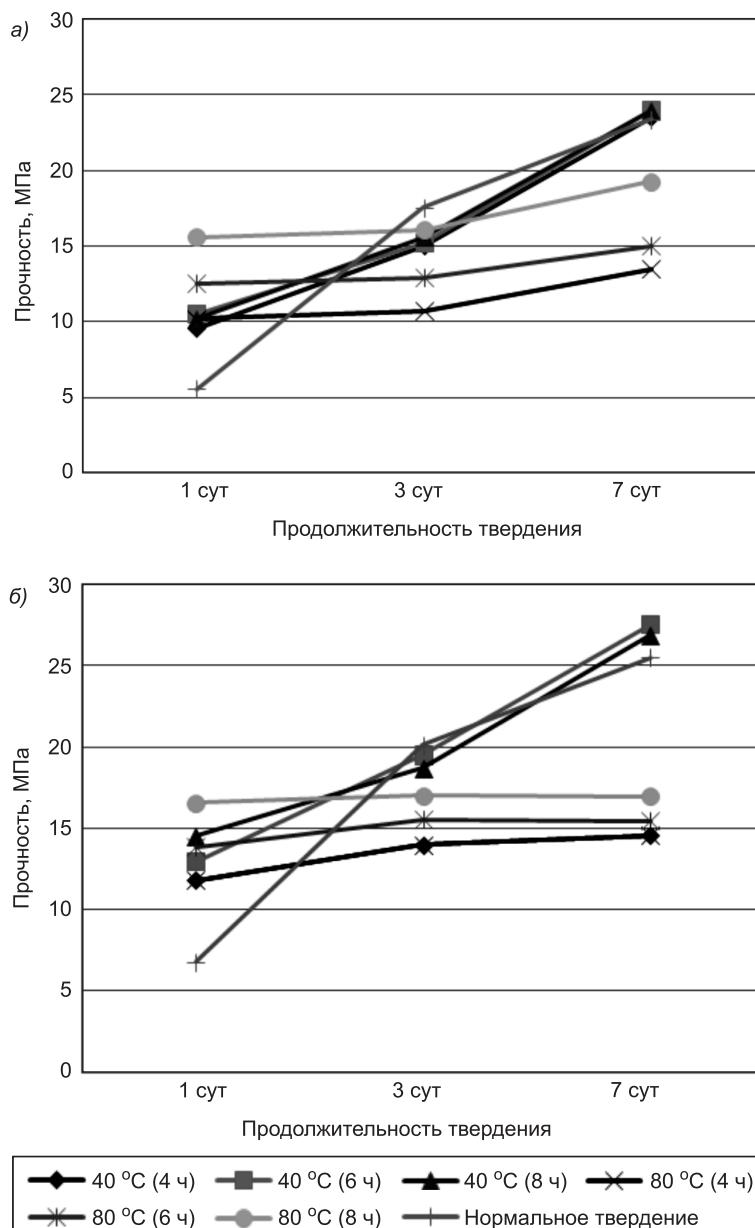


Рис. 2. Кинетика твердения мелкозернистого бетона на белгородском (а) и турецком (б) цементе в различных условиях твердения

цательно влияет на прочность изделия. После отгрузки на склады возможно образование вторичного эттингита, который оказывает отрицательное действие на прочность изделий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Баженов, Ю.М. Технология бетона [Текст] / Ю.М. Баженов. — М. : Изд-во АСВ, 2003. — 500 с.
- Рахимбаев, Ш.М. О механизме действия ускорителей схватывания и твердения цементной матрицы бетона [Текст] / Ш.М. Рахимбаев, А.А. Сердюкова // Вестн. Белгород. гос. технол. ун-та им. В.Г. Шухова. — 2013. — № 2. — С. 26–28.

3. Бердов, Г.И. Взаимодействие алюминатных клинкерных минералов с водными растворами электролитов [Текст] / Г.И. Бердов, Л.В. Ильина // Изв. вузов. Строительство. — 2012. — № 9. — С. 13–19.
4. Тейлор, Х. Химия цемента [Текст] / Х. Тейлор. — М. : Мир, 1996. — 560 с.
5. Ли, Ф.М. Химия цемента и бетона [Текст] / Ф.М. Ли. — М. : Стройиздат, 1961. — 646 с.

РАХИМБАЕВ Шарк Матрасулович, д-р техн. наук, проф.

Белгородский государственный университет им. В.Г. Шухова

ПОЛОВНЕВА Анастасия Валерьевна, асп.; E-mail: polovnev4ik@yandex.ru

Белгородский государственный университет им. В.Г. Шухова

Получено 27.05.14

Rakhimbayev Shark Matrasulovich, doctor of technical sciences, professor, Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

Polovneva Anastasiya Valerievna, post-graduate student; E-mail: polovnev4ik@yandex.ru, Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

KINETICS OF CEMENT CONCRETES HARDENING AFTER POWER EFFICIENT THERMAL TREATMENT

Work is devoted to the study of power efficient modes of thermal treatment. The comparative analysis of curing with a heating medium temperature of 40 and 80 °C is carried out, and also influence of the curing modes on the further strength growth of the fine-grained concrete which is kept under the normal conditions is studied. It is shown that concrete after curing at 40 °C gains strength at further storage with the same intensity, as concrete not being exposed to curing. Samples after curing at 80 °C harden at further storage worse. Concrete strength after Curing at 80 °C is 2,5 times lower than the branded.

Key words: curing, fine-grained concrete.

REFERENCES

1. Bazhenov, Yu.M. Concrete technology [Text] / Yu.M. Bazhenov. — M. : Publ. ASV, 2003. — 500 p.
2. Rakhimbayev, Sh.M. Mechanism of action of accelerators and curing the cement matrix concrete [Text] / Sh.M. Rakhimbayev, A.A. Serdyukova // Bull. BSTU. — 2013. — N 2. — P. 26–28.
3. Berdov, G.I. Interaction aluminate clinker minerals from aqueous electrolyte solution [Text] / G.I. Berdov, L.V. Iilina // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2012. — N 9. — P. 13–19.
4. Taylor, Ch. Chemistry of cement [Text] / Ch. Taylor. — M. : Mir, 1996. — 560 p.
5. Li, F.M. Chemistry of cement and concrete [Text] / F.M. Li. — M. : Stroyizdat, 1961. — 646 p.

УДК 691.31:678.06

А.И. ПИМЕНОВ, Р.А. ИБРАГИМОВ, В.С. ИЗОТОВ

ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК И СПОСОБА ИХ ВВЕДЕНИЯ НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Рассмотрено влияние углеродных нанотрубок и различных способов их введения на физико-механические свойства цементных композитов, сроки схватывания, тепловыделение и кинетику цементного теста. Изучены физико-механические свойства цементно-песчаного раствора, модифицированного нанотрубками и гиперпластификатором.

Ключевые слова: цементные композиты, углеродные нанотрубки, гиперпластификатор, комплексная добавка.

Одним из способов повышения эксплуатационных свойств тяжелого бетона является его модификация химическими добавками, в том числе и нанотрубками. На современном этапе развития нанотехнологий изучение свойств бетона, модифицированного нанотрубками, представляет собой особый научный и практический интерес.

Существует несколько видов нанодобавок. Для улучшения механических свойств цементных композитов рационально использовать вытянутые наночастицы, например углеродные нанотрубки (УНТ) [1]. Они обладают высокой прочностью, инертностью к кислотам и щелочам, армируют цементный камень и являются центрами кристаллизации, превращая его в высокопрочный материал [2]. Авторы [3] показывают, что известно два направления модификации структуры цементных бетонов наноразмерными частицами:

- предварительный синтез частиц и последующее их введение в бетонную смесь;
- целенаправленное выращивание в твердеющей системе необходимых для модификации структуры наноразмерных частиц.

Наибольшее распространение получил первый метод, но высокая поверхностная активность УНТ, которые при синтезе объединяются в конгломерат в виде порошкообразных гранул, т.е. имеют склонность к агломерации, затрудняет их равномерное распределение по объему композита [3].

В настоящее время предложено несколько способов эффективной дисперсии агломератов УНТ — метод гидродинамической кавитации [4], метод ультразвукового воздействия (УЗВ) [3].

В данной работе приведены исследования влияния УНТ и способа их введения, в том числе и гиперпластификатора, на физико-механические свойства цементных композитов, а также показаны сравнительные результаты двух способов введения УНТ в состав цементного композита путем механического перемешивания и УЗВ в среде поверхностно-активных веществ (ПАВ).

В качестве модификатора для цементных композитов использовались УНТ «Таунит» производства ООО «НаноТехЦентр». Этот материал представляет собой смесь нановолокон и нанотрубок диаметром 40–60 нм

и длиной до 2 мкм. В качестве ПАВ применяли гиперпластификатор «Гиперлит», представляющий собой сополимер на основе полиоксиэтиленовых производных ненасыщенных карбоновых кислот, с содержанием сухого вещества 30–35 %. Данная добавка производится компанией ООО «Сван», рекомендаемая дозировка составляет 0,9–1,5 %.

Исследовано влияние способа дозировки УНТ и гиперпластификатора «Гиперлит» на сроки схватывания и нормальную густоту цементного теста по ГОСТ 310.3–76. В эксперименте применялся портландцемент Вольского завода ПЦ400 Д20. Результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1. **Влияние способа введения УНТ на свойства цементного теста**

Состав*	Гиперлит, %	УНТ, %	Нормальная густота	Сроки схватывания, мин	
				начало	конец
1	0	0	0,27	170	220
2	1,25	0	0,23	330	420
3	0	0,005	0,27	145	185
4	1,25	0,005	0,23	290	350
5	1,25	0,005	0,23	215	290

*1 — контрольный; 2 — с гиперпластификатором; 3 — полученный механическим перемешиванием УНТ в воде затворения; 4 — полученный механическим перемешиванием УНТ в среде гиперпластификатора, с последующим введением в воду затворения; 5 — с комплексной добавкой (КД).

Комплексную добавку получали ультразвуковым воздействием на УНТ в среде гиперпластификатора с использованием прибора УЗГ 13-0,1/22 в течение 3–3,5 мин. Мощность ультразвукового воздействия составила 100 Вт.

Из табл. 1 видно, что добавка «Гиперлит» уменьшает нормальную густоту цементного теста, увеличивает начало схватывания на 160 мин и конец схватывания на 200 мин. При введении УНТ в цементное тесто без гиперпластификатора начало схватывания уменьшается на 25 мин, конец схватывания — на 35 мин.

При механическом перемешивании УНТ в среде гиперпластификатора и последующем введении полученной суспензии в состав цементного теста начало схватывания сокращается на 40 мин, а конец схватывания — на 70 мин по сравнению с составом, содержащим только гиперпластификатор.

При введении КД в цементное тесто начало схватывания уменьшается на 115 мин, а конец схватывания — на 130 мин по сравнению с составом, содержащим только гиперпластификатор.

Для оценки влияния исследуемых добавок на процессы гидратации цементного теста применялись методы контракции и тепловыделения. Контракцию цементного теста изучали с помощью прибора «Цемент-прогноз». Результаты испытаний приведены на рис. 1. При введении УНТ увеличивается значение контракции, что свидетельствует об ускорении процессов гидратации портландцемента. При этом следует отметить, что наибольшая величина контракции цементного теста наблюдается в составе с КД.

Тепловыделение цементного теста изучали на измерительном комплексе «Термохрон». Результаты испытаний приведены на рис. 2. При

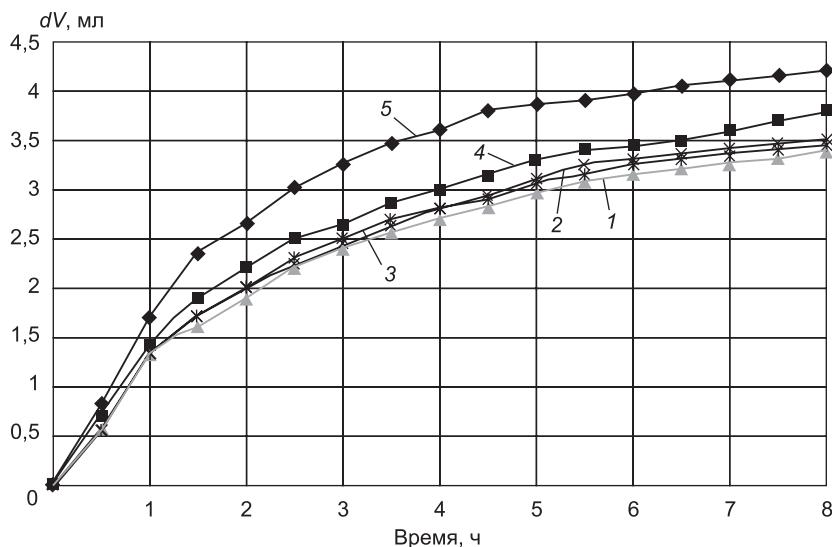


Рис. 1. Контракция цементного теста

1 — состав 1; 2 — состав 2; 3 — состав 3; 4 — состав 4; 5 — состав 5

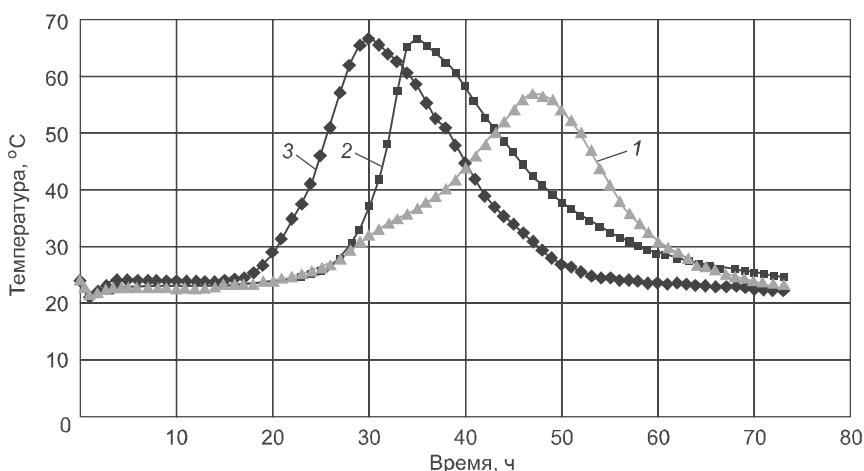


Рис. 2. Тепловыделение цементного теста

1 — состав 1; 2 — состав 4; 3 — состав 5

введении комплексной добавки независимо от способа ее получения наблюдается повышение температуры гидратации на 10 °C по сравнению с контрольным составом. В то же время способ получения добавки оказывает влияние на смещение температурного максимума к оси ординат, что свидетельствует об ускорении процесса гидратации цемента.

Изучено влияние способа введения УНТ и КД с их участием на физико-механические свойства цементного раствора. Экспериментальные работы выполнялись по методике ГОСТ 310.4–81. В качестве мелкого заполнителя использовался песок Камско-Устьинского месторождения с модулем крупности 2,7. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

При введении в цементный раствор добавки «Гиперлит» в оптимальном количестве прочность при изгибе цементно-песчаного раствора через 7 сут нормального твердения повышается на 30 %, а через 28 сут — на

Таблица 2. Физико-механические свойства модифицированного цементного раствора

Состав	В / Ц %	Прочность при изгибе, МПа		Прочность при сжатии, МПа	
		7 сут	28 сут	7 сут	28 сут
1	42 100	4,19 100	4,96 100	30,17 100	39,96 100
2	32 76	5,04 130	5,76 126	35,69 138	44,90 122
4	32 76	5,67 135	6,44 130	33,95 142	50,35 129
5	32 76	5,91 141	6,74 136	42,24 155	51,95 146

Примечание. Способы введения добавок в соответствии с табл. 1.

26 %, при сжатии увеличение прочности составляет 38 и 22 % соответственно, по отношению к составу без добавок.

При введении УНТ в гиперпластификатор с последующим механическим перемешиванием в воде затворения прочность образцов при изгибе в возрасте 7 сут нормального твердения увеличивается на 35 %, на 28 сут — на 30 %, а при сжатии на 7 и 28 сут — 42 и 29 % соответственно.

Цементно-песчаный раствор, модифицированный КД, где УНТ диспергированы в растворе гиперпластификатора, показывает прирост прочности при изгибе на 7 и 28 сут твердения на 41 и 36 % соответственно, а при сжатии прочность увеличивается на 55 и 46 % по сравнению с контрольным составом.

Выводы. 1. Введение в состав цементного теста УНТ в количестве 0,005 % от массы цемента приводит к уменьшению сроков схватывания на 25–35 мин.

2. Введение в воду затворения УНТ и гиперпластификатора с предварительным механическим перемешиванием сокращает сроки схватывания на 40–70 мин по сравнению с составом только с гиперпластификатором.

3. Прочность цементно-песчаных образцов, полученных введением УНТ и гиперпластификатора с механическим перемешиванием в воде затворения, возрастает при изгибе и сжатии на 29–42 % по сравнению с контрольным составом.

4. При введении в цементное тесто УНТ, предварительно диспергированных в растворе гиперпластификатора (КД), сокращаются сроки схватывания на 60–75 мин по сравнению с составом, полученным механическим перемешиванием исследуемых добавок в воде затворения. КД позволяет повысить прочность образцов из цементного раствора при изгибе и сжатии на 36–55 % по сравнению с контрольным составом без добавок.

5. Сочетание УНТ гиперпластификатора независимо от способа их введения в состав цементной композиции приводит к ускорению процесса гидратации портландцемента, при этом наиболее существенно в случае, когда применяется КД, где УНТ диспергированы в растворе гиперпластификатора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Староверов, В.Д. Структура и свойства наномодифицированного камня: автореф. дис. канд. техн. наук [Текст] / В.Д. Староверов. — СПб., 2009. — С. 19.

2. Яковлев, Г.И. Модификация поризованных цементных матриц углеродными нанотрубками [Текст] / Г.И. Яковлев, Г.Н. Первушин, А.Ф. Бурьянов, В.И. Кодолов, В.А. Крутиков, Ф.-Б. Фишер, Я. Керене // Стройт. материалы. — 2009. — № 3. — С. 99–102.
3. Габидуллин, М.Г. Ультразвуковая обработка — эффективный метод диспергирования углеродных нанотрубок в объеме строительного композита [Текст] / М.Г. Габидуллин, А.Ф. Хузин, Р.З. Рахимов, А.Г. Ткачев и др. // Стройт. материалы. — 2013. — № 2. — С. 57–59.
4. Пудов, И.А. Наномодификация портландцемента водными дисперсиями углеродных нанотрубок: автореф. дис. ... канд. техн. наук [Текст] / И.А. Пудов. — Казань, 2013. — С. 21.

*ПИМЕНОВ Александр Иванович, асп.; E-mail: kreation02@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
ИБРАГИМОВ Руслан Абдирашитович, канд. техн. наук, ст. препод.; E-mail:
rusmag007@yandex.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
ИЗОТОВ Владимир Сергеевич, д-р техн. наук, проф.; E-mail: v_s_izotov@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет*

Получено 07.05.14

Pimenov Alexander Ivanovich, post-graduate student; E-mail: kreation02@mail.ru, Kazan State University of Architecture and Engineering, Russia

Ibragimov Ruslan Abdirashitovich, candidate of technical sciences, senior lecturer; E-mail: rusmag007@yandex.ru, Kazan State University of Architecture and Engineering, Russia

Izotov Vladimir Sergeevich, doctor of technical sciences, professor; E-mail: v_s_izotov@mail.ru, Kazan State University of Architecture and Engineering, Russia

INFLUENCE CARBON NANOTUBES AND METHODS OF ADMINISTRATION ON PROPERTIES OF CEMENT COMPOSITIONS

In this paper we consider the influence of carbon nanotubes and their different ways of administering the physico-mechanical properties of cement composites. The influence on the setting time, heat and kinetics of the cement paste. The physical and mechanical properties of cement-sand mortar modified nanotubes and giperplastifikator's.

Key words: cement composites, carbon nanotubes, giperplastifikator, complex additive.

REFERENCES

1. Staroverov, V.D. Structure and properties of the modified nanomodified stone: author. dis. candidate techn. sciences [Text] / V.D. Staroverov. — St. Petersburg, 2009. — P. 19.
2. Yakovlev, G.I. Modification of porous cement matrix carbon nanotubes [Text] / G.I. Yakovlev, G.N. Pervushin, A.F. Buryanov, V.I. Kodolov, V.A. Krutikov, F.-B. Fisher, Ya. Kerene // Buildung Materials. — 2009. — N 3. — P. 99–102.
3. Габидуллин, М.Г. Ультразвуковая обработка — эффективный метод диспергирования углеродных нанотрубок в объеме строительного композита [Текст] / М.Г. Габидуллин, А.Ф. Хузин, Р.З. Рахимов, А.Г. Ткачев и др. // Стройт. материалы. — 2013. — № 2. — С. 57–59.
4. Пудов, И.А. Наномодификация портландцемента водными дисперсиями углеродных нанотрубок: автореф. дис. ... канд. техн. наук [Текст] / И.А. Пудов. — Казань, 2013. — С. 21.

УДК 691.327:666.973.2:662.613.11

Н.В. САВИЦКИЙ, Т.М. ПАВЛЕНКО, А.Р. АББАСОВА

СВОЙСТВА ВИБРОВАКУУМИРОВАННЫХ ЗОЛОБЕТОНОВ

Предложены новые способ и технология производства бетонных изделий на основе золы ТЭС с применением вакуумной обработки. Вибровакуумирование позволило повысить прочность золобетонов на 80–100 %, а морозостойкость — в 2 раза. Появляется возможность за счет вакуумной обработки значительно ускорять твердение золобетона, осуществлять немедленную распалубку изделий с целью уменьшения металлоемкости (материоаломкости) формооснастки.

Ключевые слова: зола, бетон, вибровакуумирование, прочность, морозостойкость.

Утилизация отходов тепловых электростанций — одна из важнейших экологических проблем, так как вблизи мощных тепловых электростанций накопились десятки миллионов тонн этих отходов. Одним из путей ее решения является использование зол и шлаков в строительстве в качестве составляющих бетонов. В этом направлении постоянно делаются и делаются попытки. Однако все они давали низкую эффективность из-за непостоянства состава и влажности в разных местах отвалов и очень высокой водопотребности золы и шлаков как материалов для бетонов. По этой причине даже с применением суперпластификаторов при умеренных расходах цемента получали бетоны недостаточной прочности, с неудовлетворительными деформативными свойствами, низкой морозостойкости и др.

Необходимо разработать новую высокоеффективную технологию производства строительных изделий (конструкций) из золобетонов, в которых зола используется одновременно как заполнитель, наполнитель, активная минеральная добавка и пластификатор. Это значительно упростит технологию производства изделий, складское хозяйство на предприятиях стройиндустрии, увеличит объемы использования золы в строительстве. В основу разработок положено следующее.

Общее свойство дисперсных систем, особенно высококонцентрированных, как, например, золобетонные смеси, заключается в том, что одни только механические воздействия сами по себе обычно недостаточно эффективны для придания им нужной структуры и обеспечения требуемых физико-механических свойств. Важную роль в этих процессах играют поверхностные физико-химические явления, от которых зависит взаимодействие частиц дисперсных фаз между собой и с окружающей средой, и, в конечном счете, сцепление частиц. Регулирование поверхностных явлений и процессов соответствующими добавками позволяет широко варьировать (ослаблять или усиливать) сцепление между частицами дисперсных фаз и изменять в желаемом направлении физико-механические свойства дисперсных систем и материалов [1].

Золобетонные смеси обладают очень большой водопотребностью из-за высокой удельной поверхности золы и поэтому при производстве изделий из золобетонов целесообразно уплотнять такие смеси виброви-

куумированием, позволяющим эффективно управлять водопотребностью за счет удаления при формировании изделий необходимой части воды затворения. Это дает возможность получить надлежащее уплотнение бетона, что обеспечит интенсивный рост прочности во времени, высокую морозостойкость.

При изучении плотности и прочности золобетонов формовали образцы:

- виброуплотненные из исходной (подвижной) бетонной смеси;
- вибровакуумированные;
- виброуплотненные из жесткой смеси (расход воды в бетоне из жесткой смеси такой же, как и у вибровакуумированного).

В исследованиях использовали портландцемент М400 и золу Приднепровской ТЭС. В качестве добавки применяли одно из соединений химических элементов первой группы Периодической системы элементов Д.И. Менделеева — карбонат натрия (Na_2CO_3) в количестве 0,4 % от расхода цемента. Подвижность исходной бетонной смеси характеризовалась осадкой стандартного конуса — ОК = 3–4 см. Из каждого вида бетонной смеси формовали образцы размером 15×15×7 см для определения плотности и прочности в возрасте 28 сут при следующих режимах и способах уплотнения (с учетом предыдущих исследований) [2]. Из бетонной смеси исходного состава образцы формовали вибрационным способом продолжительностью 25–30 с, при формировании образцов из жесткой смеси продолжительность уплотнения вибрированием составляла 60–65 с; вибровакуумированные — после предварительного виброуплотнения продолжительностью 15–20 с, подвергали вакуумированию при разрежении 0,7–0,8 (полный вакуум принят за единицу). В процессе вакуумирования применяли периодическое вибрирование (два приема по 10–12 с через каждые первые 2 мин). Общая продолжительность вибровакуумирования составляла 9 мин, при этом было удалено 88–96 л воды в пересчете на 1 м³ вибровакуумированного золобетона. Все отформованные образцы твердели в нормальных условиях. Составы бетонов и результаты их испытаний приведены в табл. 1.

Таблица 1. Состав, плотность и прочность при сжатии золобетонов

Бетон	Расход материалов, кг / м ³				Количество извлеченной воды, л / м ³	Плотность бетона, кг / м ³	Прочность при сжатии, МПа
	цемент	зола	вода	добавка (Na_2CO_3)			
Виброуплотненный из подвижной смеси	286	1102	364	1,2	—	$\frac{1752}{1502}$	6,8
Вибровакуумированный	302	1174	273	1,2	96	$\frac{1749}{1512}$	13,9
Виброуплотненный из жесткой смеси	292	1151	269	1,2	—	$\frac{1712}{1503}$	9,1

Примечание. В числителе — плотность бетонов после формования, в знаменателе — плотность сухих бетонов.

Вибровакуумирование дает возможность повысить прочность золобетонов практически в 2 раза. Прочность бетонов из жестких золобетонных смесей больше прочности бетонов из подвижных смесей только на 30–35 %. Это объясняется недостаточным уплотнением вибрационным способом таких смесей [2].

С целью выявления закономерностей роста прочности исследуемых золобетонов во времени определяли их прочность в возрасте 3, 7, 14 и 28 сут (рисунок). Как и следовало ожидать, более интенсивный рост прочности вакуумбетонов наблюдается в начальный период твердения по сравнению с виброуплотненными.

Следует отметить, что через 3 сут твердения в нормальных условиях прочность вибровакуумированного золобетона в 2,5–3 раза больше виброуплотненного бетона из подвижной бетонной смеси и на 60–70 % больше, чем у золобетона из жесткой смеси. Интенсивное твердение вибровакуумированного золобетона происходит и в возрасте 7 и 14 сут.

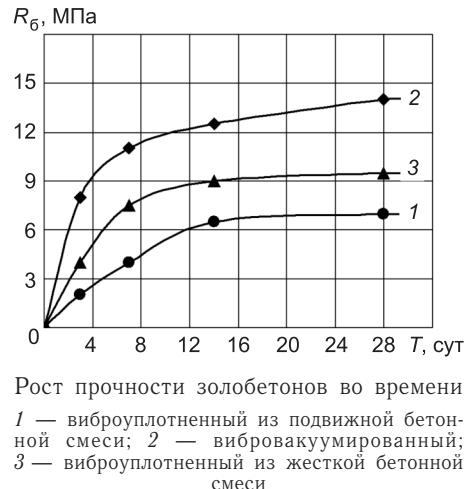
Как и в предыдущих опытах, из приведенного графика видно, что в возрасте 28 сут прочность вибровакуумированного золобетона в 2 раза больше, чем виброуплотненного из подвижной смеси, и существенно больше, чем виброуплотненного бетона из жесткой смеси.

Морозостойкость бетонов является одной из важнейших характеристик, обуславливающих их долговечность. Как известно, морозостойкость и водонепроницаемость определяются особенностями поровой структуры бетона. Наиболее опасны, с точки зрения морозостойкости бетона, сообщающиеся между собой капиллярные поры, способствующие значительному водонасыщению бетона. В.В. Стольников использовал в качестве суммарной физической характеристики структуры бетона показатель интенсивности капиллярного всасывания. В его исследованиях наблюдалось повышение морозостойкости при уменьшении интенсивности капиллярного всасывания, которое зависит от общей пористости бетона, а также от ее физического характера. Наиболее эффективным мероприятием по уменьшению капиллярного всасывания оказалось снижение В/Ц и одновременное уменьшение содержания воды и цемента до возможного минимума. Однако при этих условиях значительно повышается жесткость бетонной смеси, что затрудняет ее виброуплотнение. По данным В.И. Горчакова, для получения бетона с высокой морозостойкостью необходимо, чтобы объем капиллярных пор не превышал 5–7 % от общего объема бетона [3, 4].

Вибровакуумирование позволяет выполнить указанные выше рекомендации, обеспечивающие повышение морозостойкости бетонов. Наряду с этим существует мнение, что удаленная из бетонной смеси вакуумированием избыточная вода образует систему направленных капилляров, что отрицательно влияет на морозостойкость вакуумбетона.

Исходя из вышесказанного, были проведены сравнительные испытания на морозостойкость виброуплотненных и вибровакуумированных золобетонов. Из золобетонных смесей (см. табл. 1) путем виброрования и вибровакуумирования формовали по 12 образцов размером 15×15×7 см для определения прочности:

- в возрасте 28 сут;



Рост прочности золобетонов во времени
1 — виброуплотненный из подвижной бетонной смеси; 2 — вибровакуумированный; 3 — виброуплотненный из жесткой бетонной смеси

- в контрольных образцах;
- при промежуточных испытаниях;
- при определении марки бетона по морозостойкости.

На морозостойкость бетоны испытывали в соответствии с требованиями ГОСТ 10060.2–95 по ускоренному методу (второй метод). Результаты испытаний бетонов на морозостойкость приведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты испытаний золобетонов на морозостойкость

Золобетон	Предел прочности при сжатии, МПа						Морозостойкость	
	после 28 сут твердения	контрольных образцов	после количества циклов					
			3	5	8	13	20	
Виброуплотненный из подвижной смеси	7,1	5,8	5,5	Образец разрушен	—	—	—	F25
Вибровакуумированный	15,2	13,8	—	—	—	13,2	12,4	F75
Виброуплотненный из жесткой смеси	9,4	8,5	—	7,9	Образец разрушен	—	—	F35

Учитывая наш предыдущий опыт, при испытаниях образцов из виброуплотненной золобетонной смеси с ОК = 3–4 см определена их прочность при сжатии уже после 3 циклов. Они показали марку по морозостойкости F25 (см. табл. 2), при дальнейших испытаниях на морозостойкость после 5 циклов эти образцы разрушились.

Образцы, виброуплотненные из жесткой золобетонной смеси, были испытаны на прочность после 5 циклов. Они показали прочность при сжатии 7,9 МПа, что составило 96 % прочности контрольных образцов. Таким образом, эти бетоны имеют морозостойкость F35 (см. табл. 2). После 8 циклов испытаний на образцах появились трещины и отколы.

Вибровакуумированные образцы после 13 циклов показали прочность 13,2 МПа, что составило 97% прочности контрольных образцов. Такой показатель соответствует морозостойкости F75 (см. табл. 2). При продолжении испытаний на них после 20 циклов появились волосяные трещины, поэтому дальнейшие испытания на морозостойкость были прекращены. Правильность такого решения подтверждают результаты испытания этих образцов на прочность — она составила после указанного количества циклов 12,4 МПа или 90 %.

Таким образом, вибровакуумирование позволило повысить морозостойкость золобетонов в 2 раза в сравнении с морозостойкостью виброуплотненного бетона из жесткой бетонной смеси. Золобетоны из подвижных смесей характеризуются невысокой морозостойкостью (F25). Такое повышение морозостойкости вакуумированных золобетонов объясняется не только высокой степенью уплотнения золобетонных смесей вибровакуумированием, но и большей степенью гидратации вяжущего в вакуумированных бетонах в сравнении с виброуплотненными из жестких смесей [2, 3].

Выводы. Предложены новые способ и технология производства бетонных изделий на основе золы ТЭС с применением вакуумной обработки. Вибровакуумирование позволило повысить прочность золобетонов на 80–100 %, а морозостойкость — в 2 раза. Появляется возможность за счет вакуумной обработки значительно ускорять твердение золобетона, осуществлять немедленную распалубку изделий с целью уменьшения металлоемкости (материалаомкости) формооснастки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ребиндер, П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика: избр. тр. [Текст] / П.А. Ребиндер. — М. : Наука, 1979. — 384 с.
2. Сторожук, Н.А. Вибровакуумирование бетонных смесей и свойства вакуумбетона: моногр. [Текст] / Н.А. Сторожук. — Днепропетровск : Пороги, 2008. — 251 с.
3. Горчаков, Г.И. Повышение морозостойкости бетона в конструкциях промышленных и гидротехнических сооружений [Текст] / Г.И. Горчаков, М.И. Капкин, Б.Г. Скрамтаев. — М. : Стройиздат, 1965. — 196 с.
4. Миронов, С.А. Теория и методы зимнего бетонирования [Текст] / С.А. Миронов. — М. : Стройиздат, 1970. — 697 с.

САВИЦКИЙ Николай Васильевич, д-р техн. наук, проф.

Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, г. Днепропетровск, Украина

ПАВЛЕНКО Татьяна Михайловна, канд. техн. наук, доц.

Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, г. Днепропетровск, Украина

АББАСОВА Анастасия Руслановна, асп.

Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, г. Днепропетровск, Украина

Получено 21.05.14

Savitskiy Nicolay Vasilievich, doctor of technical sciences, professor, Prydneprovs'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnepropetrovsk, Ukraine

Pavlenko Tatyana Mikhailovna, candidate of technical sciences, assistant professor, Prydneprovs'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnepropetrovsk, Ukraine

Abbasova Anastasia Ruslanovna, post-graduate student, Prydneprovs'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnepropetrovsk, Ukraine

PROPERTIES OF VIBROVACUUMIZED ASH CONCRETE

New method and technology of production of concrete products on the basis of thermal power plants ash with the use of vacuum processing are offered. Vibrovacuumizing made it possible to increase strength of ash concrete by 80–100 %, and to double its frost resistance. Vacuum processing gives the opportunity to accelerate significantly hardening of ash concrete, carry out immediate dismantling of shuttering, and reduce metal consumption (materials consumption) of the form fitting-out.

Key words: ash, concrete, vibrovacuumizing, strength, frost resistance.

REFERENCES

1. Rebinder, P.A. Surface phenomena in disperse systems. Physico-chemical mechanics: selected works [Text] / P.A. Rebinder. — M. : Nauka, 1979. — 384 p.
2. Storozhuk, N.A. Vibrovacuumizing of concrete mixes and properties of vacuum concrete: monograph [Text] / N.A. Storozhuk. — Dnepropetrovsk : Porogi, 2008. — 251 p.
3. Gorchakov, G.I. Increasing of frost resistance of concrete in constructions of industrial and hydrotechnical structures [Text] / G.I. Gorchakov, M.I. Kapkin, B.G. Scramtaev. — M. : Stroyizdat, 1965. — 196 p.
4. Mironov, S.A. Theory and methods of winter concreting [Text] / S.A. Mironov. — M. : Stroyizdat, 1970. — 697 p.

УДК 691.54.002.3

В.П. СЕЛЯЕВ, В.А. НЕВЕРОВ, Л.И. КУПРИЯШКИНА, П.В. СЕЛЯЕВ

ВЛИЯНИЕ ЦЕОЛИТСОДЕРЖАЩИХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ПРОЧНОСТЬ И ПОРИСТОСТЬ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ

Показана возможность формирования структуры цементных композиционных материалов путем введения цеолитсодержащих наполнителей. На основании комплексного анализа, гранулометрических измерений и исследований структуры поверхности частиц цеолитсодержащих пород показана возможность улучшения свойств наполненных цементных композитов.

Ключевые слова: цеолитсодержащие наполнители, прочность, плотность, гранулометрический анализ, распределение частиц, поровое пространство, структура.

Природные цеолиты, благодаря низкой себестоимости и уникальным свойствам, находят применение в различных областях деятельности человека (строительство, сельское хозяйство, пищевая промышленность, экология, медицина и т.д.). Минеральный состав цеолитсодержащих пород представлен клиноптилолитом, кварцем, полевым шпатом, обломками пород и монтмориллонитом.

Согласно [1], общие прогнозные ресурсы цеолитов на территории Республики Мордовия на начало 2012 г. составляют чуть более 225 млн м³. Цеолиты представляют собой водные алюмосиликаты, построенные в основном из четырех-, пяти-, шестичленных (и более) колец, образованных кремнийкислородными тетраэдрами. Часть атомов кремния в этих тетраэдрах может быть замещена алюминием. Во внутрикристаллическом пространстве имеется система микрополосостей, соединенных между собой каналами, в которых располагаются обменные катионы и молекулы воды, т.е. цеолит может являться наноразмерным каркасом, внедряясь в который молекулы и ионы образуют упорядоченную структуру, и материал в целом приобретает уникальные свойства [2].

С целью оценки возможностей использования цеолитсодержащих пород (ЦСП) для производства строительных материалов и изделий, было проведено их комплексное изучение. В данной работе приводятся результаты гранулометрических измерений и исследований структуры поверхности частиц цеолитсодержащих пород методом электронной микроскопии.

Анализ данных, полученных с помощью анализатора размеров частиц Shimadzu SALD 3101, позволяет сделать выводы: цеолитсодержащие породы Атяшевского месторождения имеют сложный гранулометрический состав (рис. 1); линейные частицы природного цеолита (рис. 1, а) образуют непрерывный ряд значений, укладывающихся в диапазон 0,250–125 мкм; распределение частиц по размерам имеет три четко выраженных максимума (три моды): первый находится на область субмикрометровых размеров частиц — 0,875 мкм, второй — на область единиц

© Селяев В.П., Неверов В.А., Куприяшкина Л.И., Селяев П.В., 2014

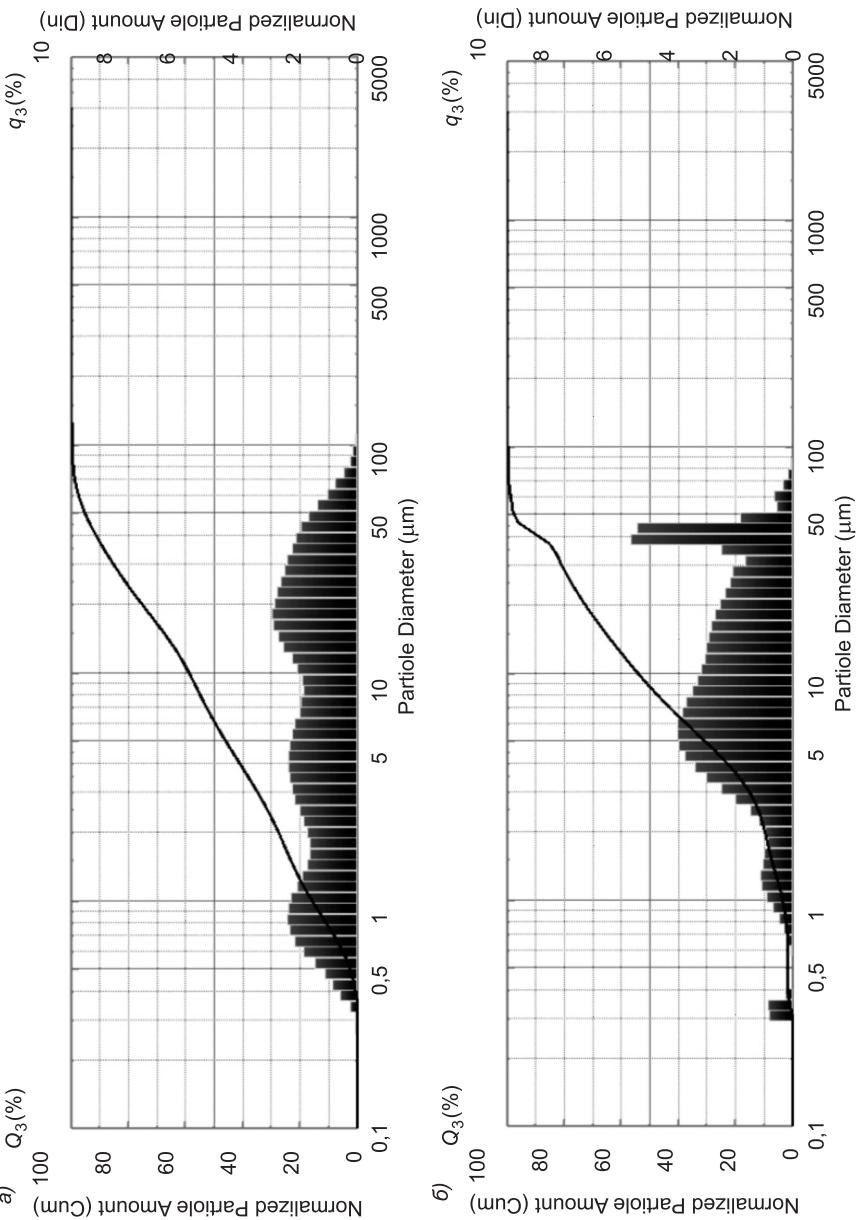


Рис. 1. Гранулометрические гистограммы природных цеолитов Атяшевского (а) и Татарско-Шатрашанского (б) месторождений

микрометров — 4,1–4,5 мкм, третий — наблюдается для частиц, имеющих масштаб десятков микрометров, а именно ~19 мкм. Данные гранулометрического анализа позволяют определить относительное содержание тех или иных фракций исследуемого дисперсного материала: на диапазон крупности 0,250–1 мкм приходится 18 % всех частиц; размеры 1–10 мкм имеют около 41 % частиц; 10–100 мкм — 41 %. Таким образом 82 % частиц цеолитсодержащей породы Атяшевского месторождения состоят из дисперсных частиц размеров 1–100 мкм.

Полученное распределение частиц цеолита по размерам согласуется с результатами исследования процесса роста кристаллов цеолитов в раз-

личных условиях. Они дают основания считать, что в конечных продуктах частицы цеолитов обычно в большей или меньшей степени полидисперсны, а нарушение монотонности их распределения по размерам объясняются результатом статистических отклонений, что и ведет к распределению числа кристаллов (частиц) по модам.

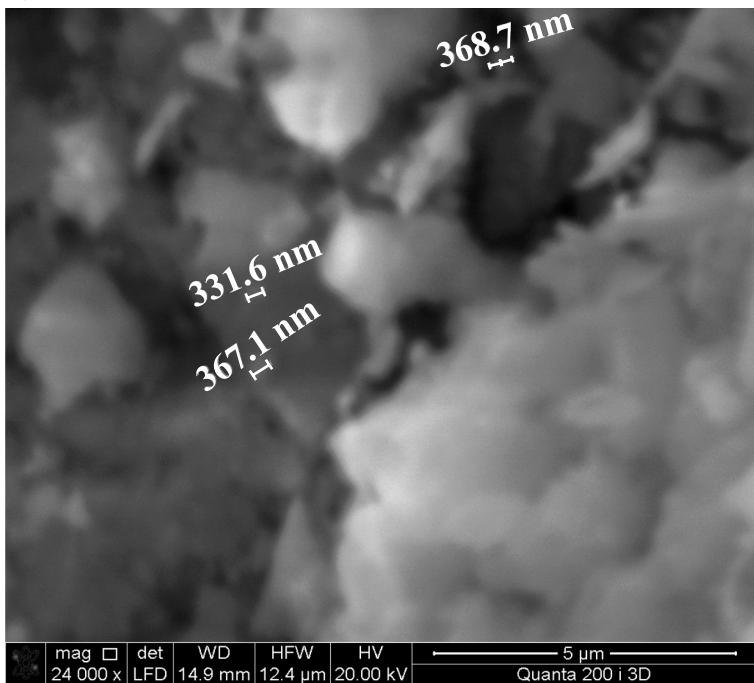
Цеолитсодержащие породы Татарско-Шатрашанского месторождения имеют более сложный характер распределения частиц по размерам. На гранулометрической гистограмме (см. рис. 1, б) условно можно выделить пять максимумов в различных областях значений линейных размеров: 300–560 нм; 0,7–1,9 мкм; 2–30 мкм; 30–55 мкм; 55–100 мкм. Информация о положении указанных максимумов и процентное содержание дисперсных частиц соответствующих масштабов крупности приведена в таблице.

Диапазон значений крупности, мкм	Наиболее вероятное значение крупности, мкм	Относительное содержание, %
0,300–0,560	0,360	2
0,7–1,9	1,4	8
2–30	6	72
30–55	42	17
55–100	60	1

В цеолитсодержащей породе Татарско-Шатрашанского месторождения, в отличие от Атяшевского, наблюдается ультрадисперсная фракция частиц крупностью 0,300–0,560 мкм (мода с содержанием частиц ~2 %). Подавляющее количество дисперсного материала имеет линейные размеры 2–30 мкм. Обращает внимание наличие резко выраженного несимметричного максимума, характеризующего распределение частиц с линейными размерами ~30–55 мкм. В этот узкий интервал крупности попадают до 17 % всех частиц образца с характерными размерами около 42 мкм. Анализ гистограмм гранулометрических измерений цеолитсодержащих пород Атяшевского и Татарско-Шатрашанского месторождений показывает, что цеолит Атяшевского месторождения имеет заметно более однородный состав полидисперсной зернистой системы, а особенностью цеолита Татарско-Шатрашанского месторождения следует признать дисперсность гранулометрического состава с четко выраженным содержанием субмикрометровой фракции.

Особенности тонкой структуры поверхности частиц цеолитсодержащих пород исследованы с применением растрового электронного микроскопа Quanta 200i 3DFEI. На рис. 2 представлены микрофотографии частиц исследуемых цеолитов при увеличении 24000x. Микроразмерные частицы ископаемых пород Атяшевского месторождения представляют собой (рис. 2, а) рыхлые структурированные образования, покрытые сетью пустот либо пор в виде извилистых оврагоподобных систем. Линейные размеры отдельных открытых пор от ~150–500 нм до субмикрометровых величин. Поры такого масштаба по классификации можно отнести к макропорам — в них возможна конденсация молекул воды, которая интенсивно удаляется из цеолитов при их прокаливании [3].

а)



б)

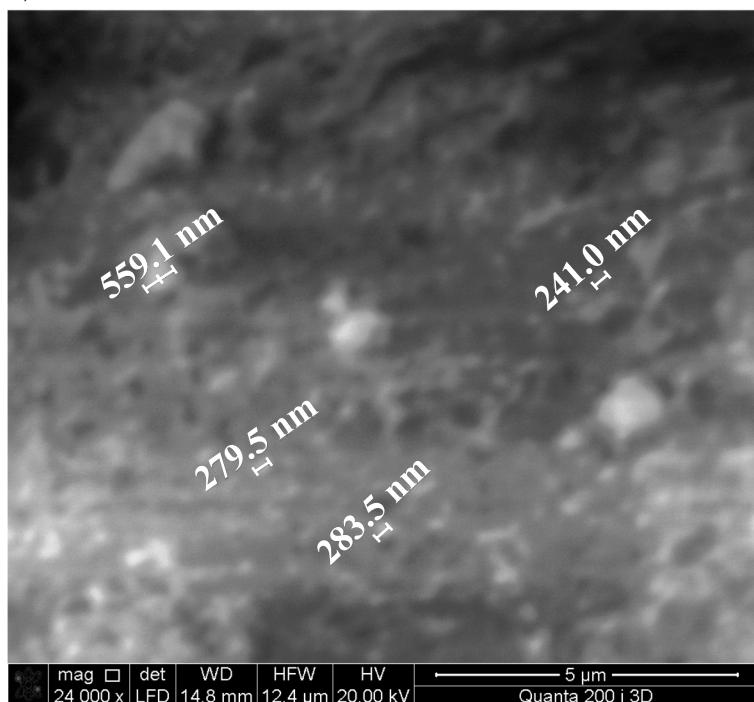


Рис. 2. Микрофотографии поверхности дисперсных частиц цеолитсодержащих пород месторождений Республики Мордовия (а) и Татарстана (б)

Характер поровой системы поверхности исследуемых цеолитов хорошо виден на рис. 2, б (цеолит Татарско-Шатрашанского месторождения). Макропоры размеров 200–500 нм покрывают значительную часть

поверхности частицы. Присутствуют отдельные объекты масштаба 150–700 нм, форма которых напоминает сферическую, диффузного вида с нечеткими, размытыми краями и их кластеры различной конфигурации с размерами от нескольких сотен нанометров до нескольких микрометров. В целом частицы рассмотренных месторождений ЦСП по характеристикам гранулометрии, топографии поверхности идентичны, имеют большую удельную поверхность, развитое поровое пространство. ЦСП Мордовии отличаются более равномерным распределением частиц по размеру. Гранулометрические и топографические характеристики природных цеолитов дают возможность предполагать о возможной эффективности их использования в качестве активных наполнителей цементных композиций. Введение даже в небольших количествах ЦСП, способных адсорбироваться на зародышах новой фазы, позволяет управлять процессом образования структуры цементного камня [4].

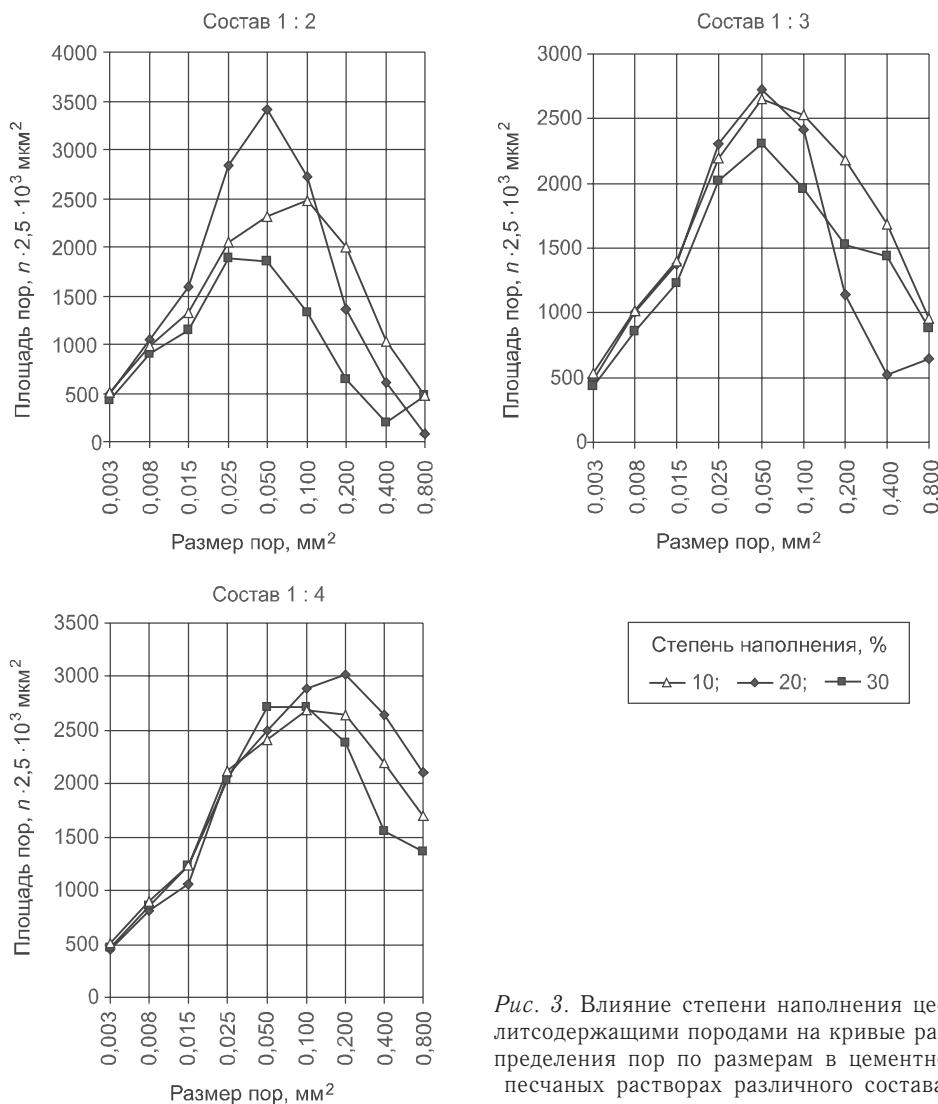


Рис. 3. Влияние степени наполнения цеолитсодержащими породами на кривые распределения пор по размерам в цементно-песчаных растворах различного состава

Было исследовано влияние ЦСП Атяшевского месторождения на поровую структуру, прочность и плотность цементного композита.

Изменение порового пространства изучалось методом прямого сканирования в зависимости от количества наполнителя (цеолитсодержащих пород Атяшевского месторождения Республики Мордовия) и мелкого заполнителя (песка крупностью 0,315 мм) в цементно-песчаном растворе. Степень наполнения варьировалась от 10 до 30 %. Соотношение «цемент: песок» в составах менялось: 1:2; 1:3; 1:4.

На рис. 3 приведены экспериментальные кривые распределения размеров и количества пор в цементном камне, из анализа которых следует, что даже при небольшом изменении количества введенного наполнителя существенно изменяется распределение капиллярных пор. При увеличении количества песка происходят сглаживание пика и смещение его в сторону крупных пор. Одновременно с этим во всех составах повышается общая площадь пор размером больше 0,1 мм.

Расчетом интегральных объемов открытых пор для различных составов (рис. 4, а) установлено, что оптимальному количеству (20 %) введенного наполнителя во всех составах соответствует минимальное значение (23,8 %) интегрального объема открытых пор. Эта закономерность имеет практическое значение, так как дает возможность прогнозировать объем скрытых пор в растворах и бетонах любого состава.

Поры геля представляют собой промежуточное пространство между частицами гидратированного цемента. Количество пор геля и их строение определяются степенью гидратации цемента и характеризуются коэффициентом микропористости K_m , который изменяется в следующих пределах: $0 < K_m < 1$. Если $K_m = 0$, то вся пористость представлена макропорами, если $K_m = 1$, то вся пористость состоит из микропор. Согласно полученным экспериментальным данным, при оптимальной степени наполнения (в пределах 20 %) K_m увеличивается. При дальнейшем наполнении показатель K_m уменьшается (рис. 4, б).

При оптимальном наполнении уменьшается объем пор, увеличивается коэффициент микропористости. Следует ожидать, что оптимальной

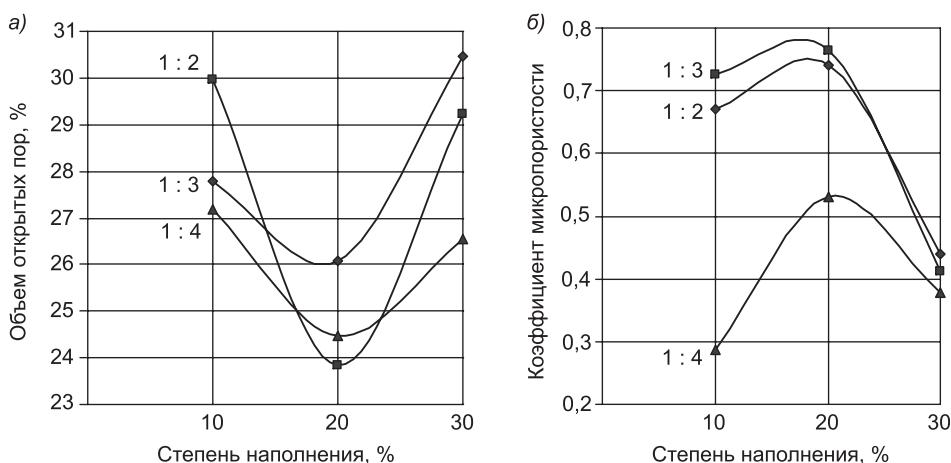


Рис. 4. Влияние степени наполнения цеолитсодержащими породами на объем открытых пор (а) и коэффициент микропористости (б) растворов различных составов

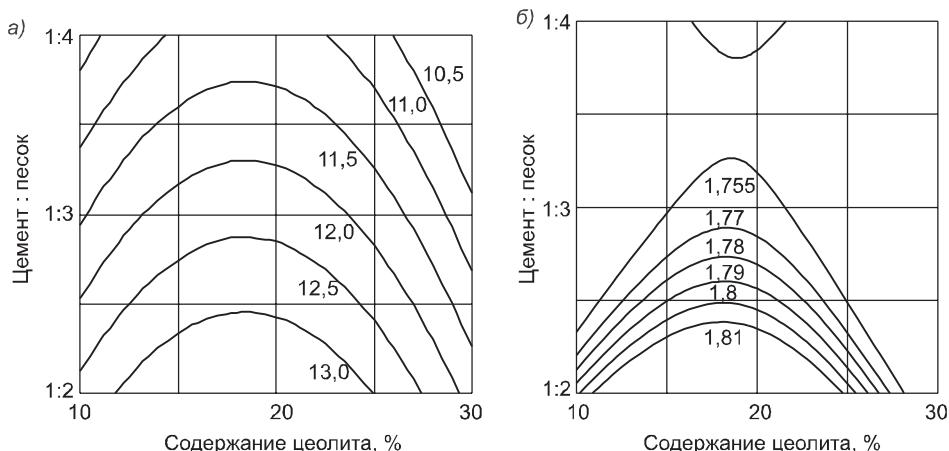


Рис. 5. Влияние степени наполнения цеолитсодержащими породами и песком на предел прочности при сжатии, МПа (а) и плотность, г/см³, растворов (б)

степени наполнения будет соответствовать повышение прочности и плотности. Анализ экспериментальных данных показал, что наибольшая прочность образцов достигается при 20 % наполнении цементного камня цеолитсодержащими породами (рис. 5). Такая зависимость прослеживается во всех составах цементно-песчаного раствора: 1:2; 1:3; 1:4.

Согласно экспериментальным данным, представленным на рис. 5, при оптимальной степени наполнения увеличивается плотность цементно-песчаного раствора всех составов.

Из анализа представленных данных следует, что путем наполнения цементных композиций ЦСП можно управлять процессом формирования структуры, порового пространства, плотности и прочности. Введение 20 % наполнителя позволяет повысить прочность и плотность цементных композиций, снизить расход цемента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды в Республике Мордовия в 2012 году [Текст]. — Саранск, 2012. — 152 с.
- Пеков, И.В. Цеолиты щелочных массивов [Текст] / И.В. Пеков, А.Г. Турчкова, Е.В. Ловская, Н.В. Чуканов. — М. : Экост, 2004. — 168 с.
- Selyaev, V.P. Diatomite Middle Volga. Structure and properties [Текст] / V.P. Selyaev, V.A. Neverov, L.I. Kupriyashkina, A.K. Osipov, O.A. Udina // Science, Technology and Higher Education April 17th, 2013. Vol. 2. — Westwood, Canada, 2013. — Р. 218–227.
- Селяев, В.П. Теплоизоляционные свойства материалов на основе тонкодисперсных минеральных порошков [Текст] / В.П. Селяев, А.К. Осипов, В.А. Неверов, Л.И. Куприяшкина, О.Г. Маштаев, В.В. Сидоров // Стройт. материалы. — 2013. — № 1. — С. 61–63.

СЕЛЯЕВ Владимир Павлович, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф.
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, г. Саранск
НЕВЕРОВ Вячеслав Александрович, канд. физ.-мат. наук, доц.
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, г. Саранск
КУПРИЯШКИНА Людмила Ивановна, канд. техн. наук, проф.
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, г. Саранск

СЕЛЯЕВ Павел Владимирович, канд. техн. наук, доц.

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, г. Саранск

Получено 26.05.14

Selyaev Vladimir Pavlovich, RAACS academician, doctor of technical sciences, professor, N.P. Ogarev's Mordovian State University, Saransk, Russia

Neverov Vyacheslav Alexandrovich, candidate of physical and mathematical sciences, assistant professor, N.P. Ogarev's Mordovian State University, Saransk, Russia

Kupriyashkina Lyudmila Ivanovna, candidate of technical sciences, professor, N.P. Ogarev's Mordovian State University, Saransk, Russia

Selyaev Pavel Vladimirovich, candidate of technical sciences, assistant professor, N.P. Ogarev's Mordovian State University, Saransk, Russia

INFLUENCE FILLERS CONTAIN ZEOLITE ON STRENGTH AND POROSITY OF CEMENT COMPOSITES

The possibility of formation of the structure of cement composite materials by introducing zeolite fillers. Based on a comprehensive analysis of the particle size measurements and studies of the structure of zeolite particle surface rocks shows the possibility of improving the properties of cement-filled composites.

Key words: fillers containing zeolite fillers, strength, density, particle size analysis, particle size distribution, the pore space, structure.

REFERENCES

1. State report on the condition and protection of the environment in the Republic of Mordovia in 2012 [Text]. — Saransk, 2012. — 152 p.
 2. Pekov, I.V. Zeolites alkaline massifs [Text] / I.V. Pekov, A.G. Turchkova, E.V. Lovskaya, N.V. Chukanov. — M. : Ekost, 2004. — 168 p.
 3. Selyaev, V.P. Diatomite Middle Volga. Structure and properties [Text] / V.P. Selyaev, V.A. Neverov, L.I. Kupriyashkina, A.K. Osipov, O.A. Udina // Science, Technology and Higher Education April 17th, 2013. Vol. 2. — Westwood, Canada. — 2013. — P. 218–227.
 4. Selyaev, V.P. Insulating properties of materials on the basis of fine mineral powders [Text] / V.P. Selyaev, A.K. Osipov, V.A. Neverov, L.I. Kupriyashkina, O.G. Mashtaev, V.V. Sidorov // Building Materials. — 2013. — N 1. — P. 61–63.
-

УДК 691.55:666.914.5

В.И. ЛОГАНИНА, В.Г. КАМБУРГ, Л.В. МАКАРОВА, Н.Ю. БОДАЖКОВ

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ С УЧЕТОМ ИХ СТОИМОСТИ

Предложен новый подход к оптимизации состава сухих строительных смесей с учетом взаимосвязи «состав-структура-свойство-стоимость», который основан на параметризации критериев качества по удельной стоимости составов.

Ключевые слова: сухие строительные смеси, отделочные составы, обобщенный критерий качества, удельная стоимость.

Разработка оптимальной рецептуры сухих строительных смесей (ССС), как правило, решается рациональной постановкой экспериментов «состав-структура-свойство» с последующим анализом и обработкой полученных данных. После подбора оптимального состава ССС оценивается ее стоимость. Однако, на наш взгляд, оптимизация состава строительных материалов, в том числе и ССС, должна быть проведена с учетом взаимосвязи «состав-структура-свойство-стоимость». Известны многочисленные подходы решения подобных задач из различных областей, например [1, 2].

В настоящей работе предлагается метод оптимизации состава ССС с учетом его стоимости при сохранении заданного уровня качества. Данная задача решается путем выбора оптимального соотношения компонентов, позволяющего получать составы с заданными значениями критериев физико-механических, технологических и эстетических свойств с учетом минимальной стоимости состава. С этой целью необходимо найти набор компонентов смеси (x_1, \dots, x_n) с заданными удельными стоимостями (УС) (c_1, \dots, c_n), обеспечивающий решение оптимизационной задачи:

$$\begin{aligned} & \max Z(x_1, \dots, x_n); \\ & \min x_i \leq x_i \leq \max x_i, \quad i = 1, \dots, n; \\ & 0 \leq K_j(k_1, \dots, k_p) \leq 1, \quad j = 1, \dots, l; \\ & \min k_j \leq k_j \leq \max k_j, \quad j = 1, \dots, p; \\ & \min S(x_1, \dots, x_n) = \min(c_1 x_1 + \dots + c_n x_n), \end{aligned} \tag{1}$$

где $Z \geq 0$ — выбранный обобщенный критерий качества (ОКК); K_j — шкалированные коэффициенты j -го свойства материала, зависящие от частных критериев качества $k_j = k_j(x_1, \dots, x_n)$, $j = 1, \dots, p$.

Для определения ОКК в работе предлагается использовать следующее выражение:

$$Z = \sum_i \alpha_i Z_i, \quad i = 1, \dots, m, \tag{2}$$

где α_i — коэффициенты весомости частных факторов. При этом должны выполняться следующие условия $Z_i \geq 0$ и $\sum_i \alpha_i = 1$.

Каждый из Z_i численно описывает значение и состояние i -го фактора и может представлять собой различные функциональные соотношения, при этом большие значения ОКК характеризуют лучшие состояния. Качество ССС и отделочных покрытий на их основе, в соответствии с декомпозицией системы критериев качества k_j , оценивается по результатам экспериментальных исследований или методом экспертных оценок [4].

В качестве объекта исследования использовали ССС, предназначеннную для выполнения отделочных работ [5]. В процессе экспериментальных исследований были использованы составы, представленные в таблице. Для повышения стойкости покрытий в их рецептуру вводилась добавка синтезированных гидросиликатов кальция (ГСК) [5].

Качество ССС и покрытий на их основе оценивалось по показателям физико-механических (1-я группа), технологических свойств (2-я группа) и свойств, характеризующих класс качества внешнего вида покрытий (3-я группа).

Выделенные критерии (свойства) сгруппированы в ОКК следующего вида:

$$Z = \alpha_1 K_{\phi_m} + \alpha_2 K_{tex} + \alpha_3 K_{est} = \alpha_1 \sqrt[3]{k_{np} k_n k_{adr}} + \alpha_2 \sqrt[3]{k_b k_{jk} k_w} + \alpha_3 k_k, \quad (3)$$

где K_{ϕ_m} — коэффициент, характеризующий физико-механические свойства (предел прочности при сжатии, адгезионная прочность, паропроницаемость), вычисляемый по формуле $K_{\phi_m} = \sqrt[3]{k_{np} k_n k_{adr}}$;

K_{tex} — коэффициент, характеризующий технологические свойства (время высыхания материала до степени 5 при (20 ± 2) °C и жизнеспособность материала отделочного покрытия, водоудерживающая способность), рассчитываемый по формуле $K_{tex} = \sqrt[3]{k_b k_{jk} k_w}$;

K_{est} — коэффициент, характеризующий класс качества внешнего вида;

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ — коэффициенты весомости;

k_{np} — критерий предела прочности при сжатии;

k_n — критерий паропроницаемости;

k_{adr} — критерий адгезионной прочности;

k_b — критерий времени высыхания до степени 5;

k_{jk} — критерий жизнеспособности при хранении в открытых емкостях;

k_w — критерий водоудерживающей способности;

k_k — критерий класса качества внешнего вида.

Для перевода показателей свойств ССС принят метод шкалирования с использованием функции Харрингтона [2, 3]. Предварительно была рассчитана стоимость всех составов, указанных в таблице.

Проведем параметризацию всех коэффициентов $K_j = K_j(x_1, \dots, x_n)$, зависящих от составов, по удельной стоимости составов:

$$S = \sum_i^n c_i x_i, \quad (4)$$

где n — число компонентов состава;

x_i — весовая доля i -го компонента;

c_i — его удельная стоимость.

Показатели качества и удельной стоимости отделочных составов

№	Соотношение основных компонентов, %	Физико-механические свойства			Технологические свойства			Удельная стоимость состава, руб./100 г
		прочность при сжатии, МПа	адгезионная прочность, МПа	коэффициент паропроницаемости, мг/(м·ч·Па)	водоудерживающая способность, %	время высыхания до степени 5, мин	жизнеспособность, ч	
1	Известь — 18,9, ГСК — 0,95, песок — 59,53, С-3 — 0,14, Neolith — 0,63, вода — 19,85	3,05	0,72	0,05	98,2	15	1,5	0,19
2	Известь — 17,26, ГСК — 2,59, песок — 59,53, С-3 — 0,14, Neolith — 0,63, вода — 19,85	4,12	0,86	0,05	98,5	15	1,4	0,203
3	Известь — 15,26, ГСК — 4,58, песок — 59,54, С-3 — 0,14, Neolith — 0,64, вода — 19,84	3,86	0,91	0,063	98,7	15	1,1	0,219
4	Известь — 15,24, ГСК — 4,57, песок — 59,45, С-3 — 0,14, Neolith — 0,64, вода — 19,81, пигмент желтый СВ — 0,15	3,82	0,86	0,06	98,6	15	1,1	0,245
5	Известь — 15,14, ГСК — 4,54, песок — 59,11, С-3 — 0,14, Neolith — 0,63, вода — 19,68, пигмент желтый СВ — 0,76	3,76	0,73	0,059	98,5	15	1,2	0,254
6	Известь — 15,24, ГСК — 4,57, песок — 59,45, С-3 — 0,14, Neolith — 0,64, вода — 19,81, пигмент голубой ФТЦ — 0,15	3,46	0,67	0,06	98,3	15	1,2	0,35
7	Известь — 15,14, ГСК — 4,54, песок — 59,11, С-3 — 0,14, Neolith — 0,63, вода — 19,68, пигмент голубой ФТЦ — 0,76	3,32	0,53	0,058	98,2	15	1,3	0,392

Примечание. Эстетические свойства: V класс качества внешнего вида покрытий.

Тогда $K_j = K_j(S)$ и $Z = Z(K_1(S), \dots, K_l(S))$. Таким образом, все критерияльные выражения будут зависеть от стоимостного параметра S . Решим задачу оптимизации обобщенного критерия качества с учетом стоимости, определяя S_0 по формуле (4), в которой Z принимает максимальное значение Z_0 . Соответствующий ему состав считаем оптимальным.

Принимаем, что весовые коэффициенты в уравнении (3), характеризующие вклад каждой группы свойств, равны между собой. На рис. 1 приведены значения показателей качества CCC, где по оси абсцисс указаны номера составов для коэффициентов K_j , а ось ординат отображает шкалу их значений для соответствующих УС.

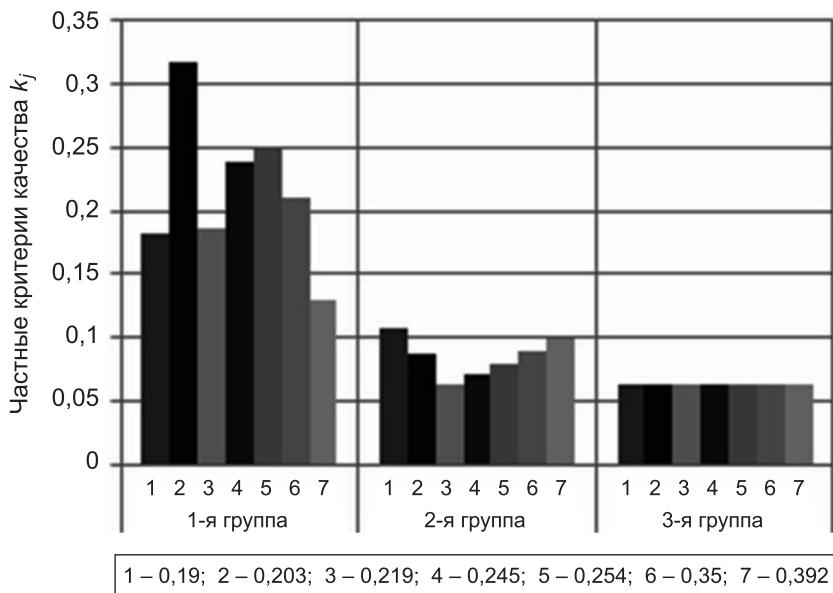


Рис. 1. Зависимости групп коэффициентов K от стоимостей составов

На рис. 2 представлены значения ОКК, рассчитанные по формуле (3), с учетом УС.

Как и следовало ожидать, основной вклад в ОКК вносят физико-механические свойства ($k_{\text{адг}}, k_{\text{пр}}, \min x_i \leq x_i \leq \max x_i$). Максимальные значения ОКК соответствуют составу (без пигмента) с удельной стоимостью 0,203. При введении в рецептуру пигмента максимальное значение ОКК характерно для составов с УС, равной 0,254.

Для определения оптимального состава относительно требований «цена — качество» последовательно решаются две задачи:

- нахождение ценового интервала, внутри которого ищется значение S_0 , соответствующее максимуму ОКК;

- по значению S_0 состава находятся соответствующие значения компонентов x_i^0 , как решение линейного уравнения (4) с ограничениями $\min x_i \leq x_i \leq \max x_i$ (при этом используются либо требования нормативных документов, либо результаты экспериментальных исследований), методами квадратичного программирования [6].

Численное решение обеих задач находится в среде MathCad функцией Minimize [7].

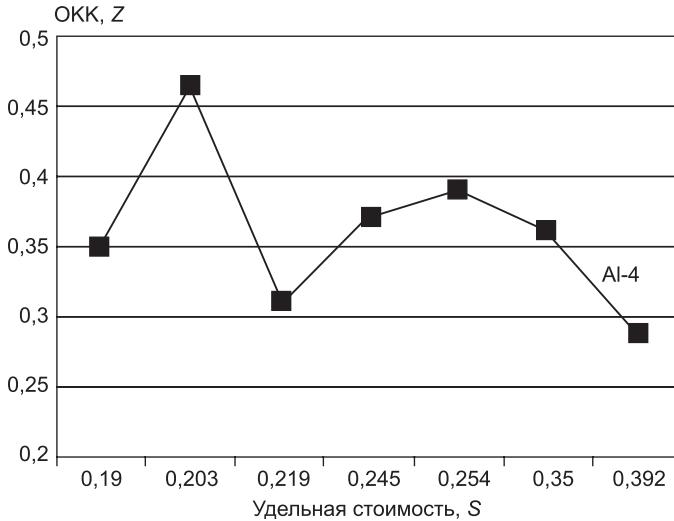


Рис. 2. Обобщенный критерий качества CCC с учетом удельной стоимости состава

Для нахождения максимума ОКК каждый из коэффициентов K_j из экспериментальных данных аппроксимировался квадратичным трехчленом по методу наименьших квадратов и использовалась функция minimize в среде MathCad. В рассматриваемом случае был получен оптимальный состав со следующим содержанием исходных компонентов (x_i^0), %: известь — 15, ГСК — 3,75, песок — 61,52, С-3 — 0,14, Neolith — 0,64, вода — 18,8, пигмент — 0,15 и удельной стоимостью 0,241.

Как и следовало ожидать, стоимость состава наиболее чувствительна к дорогостоящим компонентам.

Заметим, что выбранная параметризация ОКК по УС позволяет получить из выражения (3):

$$\begin{aligned}
 Z - Z_0 &= \left(\frac{\partial Z}{\partial K_1} \right)_0 (K_1 - K_1^0) + \dots + \left(\frac{\partial Z}{\partial K_l} \right)_0 (K_l - K_l^0) = \\
 &= \left[\left(\frac{\partial Z}{\partial K_1} \right)_0 \left(\frac{\partial K_1}{\partial S} \right)_0 + \dots + \frac{\partial Z}{\partial K_l} \left(\frac{\partial K_l}{\partial S} \right)_0 \right] * (S - S_0) = \\
 &= \left[\left(\frac{\partial Z}{\partial K_1} \right)_0 \sum_i^n \left(C_i * \left(\frac{\partial K_1}{\partial X_i} \right)_0 \right) + \dots + \frac{\partial Z}{\partial K_l} \sum_i^n \left(C_i * \left(\frac{\partial K_l}{\partial X_i} \right)_0 \right) \right] * (S - S_0),
 \end{aligned} \tag{5}$$

где нулевым индексом обозначены значения параметров ОКК в выбранной точке S_0 .

Выражение (5) позволяет анализировать влияние каждого из факторов на изменение ОКК при изменении удельной стоимости на величину $S - S_0$ и оценивать его стоимостной вклад в общее значение ОКК.

Таким образом, на примере разработки рецептуры отделочной CCC рассматривается новый подход к оптимизации системы «состав-структурно-свойство-стоимость», основанный на параметризации критериев качества по удельной стоимости составов, как решение оптимизационной задачи с ограничениями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Tupitsyna, O. Criteria management of a choice of effective ways of a recreation of the territories broken by technogenic influence. Interdisciplinary integration of science in technology, education and economy [Текст] / O. Tupitsyna, V. Kamburg, N. Bodazhkov, D. Bykov. — Bydgosz, Poland, 2013. — P. 637–645.
2. Бубнов, Е.А. Шкалирование входной информации в корабельных системах информационной поддержки [Текст] / Е.А. Бубнов, Д.А. Скороходов // Интернет-журнал. — 2007. — № 12. — Режим доступа: <http://grinda.info/control/skalir/skalir.htm>. (Дата обращения: 12.05.10).
3. Логанина, В.И. Известковые сухие строительные смеси для реставрации и отделки стен зданий [Текст] / В.И. Логанина, Л.В. Макарова, К.А. Сергеева. — Пенза : ПГУАС, 2013. — 128 с.
4. Логанина, В.И. Квадратиметрия и управление качеством [Текст] / В.И. Логанина, Л.В. Макарова, Р.В. Тарасов. — Пенза : ПГУАС, 2014. — 304 с.
5. Логанина, В.И. Применение добавки на основе гидросиликатов кальция в сухих строительных смесях [Текст] / В.И. Логанина, Л.В. Макарова, К.А. Сергеева // Сухие строительные смеси. — 2012. — № 1(27). — С. 16–18.
6. Пшеничный, Б.Н. Численные методы в экстремальных задачах [Текст] / Б.Н. Пшеничный, Ю.М. Данилин. — М. : Наука, 1975. — 320 с.
7. Ивановский, Р.И. Компьютерные технологии в науке. Практика применения систем MathCAD 7 Pro, 8 Pro, 2000 Pro [Текст] / Р.И. Ивановский. — СПб. : Изд-во СПбГТУ, 2000. — 162 с.

ЛОГАНИНА Валентина Ивановна, д-р техн. наук, проф.

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
КАМБУРГ Владимир Григорьевич, д-р техн. наук, проф.*

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
МАКАРОВА Людмила Викторовна, канд. техн наук, доц.*

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
БОДАЖКОВ Никита Юрьевич, асп.*

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Получено 16.05.14

Loganina Valentina Ivanovna, doctor of technical sciences, professor, Penza State University of Architecture and Construction, Russia

Kamburg Vladimir Grigorievich, doctor of technical sciences, professor, Penza State University of Architecture and Construction, Russia

Makarova Lyudmila Viktorovna, candidate of technical sciences, assistant professor, Penza State University of Architecture and Construction, Russia

Bodazhkov Nikita Yurievich, post-graduate student, Penza State University of Architecture and Construction, Russia

THE OPTIMIZATION OF COMPOSITION OF DRY CONSTRUCTION MIXES TAKING INTO ACCOUNT THEIR COST

The new approach to optimization of composition of dry construction mixes taking into account interrelation «composition-structure-property-cost» which is based on parameterization of quality criteria at the specific cost of compositions is offered.

Key words: the dry construction mixes, the finishing compositions, the generalized criterion of quality, the specific cost.

REFERENCES

1. Tupitsyna, O. Criteria management of a choice of effective ways of a recreation of the territories broken by technogenic influence. Interdisciplinary integration of science in

- technology, education and economy [Text] / O. Tupitsyna, V. Kamburg, N. Bodazhkov, D. Bykov. — Bydgosz, Poland, 2013. — P. 637–645.
2. B u b n o v, E.A. Scaling of entrance information in ship systems of information support of [Text] / E.A. Bubnov, D.A. Skorokhodov // Internet magazine. — 2007. — N 12. — <http://grinda.info/control/skalir/skalir.htm> (Date of the address 12.05.10).
3. L o g a n i n a, V.I. Limy dry construction mixes for restoration and finishing of walls of buildings [Text] / V.I. Loganina, L.V. Makarova, K.A. Sergeeva. — Penza : PSUAC, 2013. — 128 p.
4. L o g a n i n a, V.I. Qualimetry and quality management of [Text] / V.I. Loganina, L.V. Makarova, R.V. Tarasov. — Penza: PSUAC, 2014. — 304 p.
5. L o g a n i n a, V.I. Application of additive based on the calcium hydrosilicates in dry construction mixes [Text] / V.I. Loganina, L.V. Makarova, K.A. Sergeeva // Dry construction mixes. — 2012. — N 1(27). — P. 16–18.
6. P s h e n i c h n y y, B.N. Numerical methods in extrem problems [Text] / B.N. Pshenichnyy, Yu.M. Danilin. — M. : Nauka, 1975. — 320 p.
7. I v a n o v s k y, R.I. Computer technologies in science. Practice of use of systems Math CAD7 Pro, 8 Pro, 2000 Pro [Text] / R.I. Ivanovsky. — St. Petersburg : Publishing house SPSTU, 2000. — 162 p.
-

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 624.155

В.В. ГРУЗИН, Д.Э. АБРАМЕНКОВ, А.В. ГРУЗИН, В.В. УГАЙ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ УСИЛЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Рассмотрены варианты эффективных способов усиления грунтового основания фундаментов и технологическая последовательность операций их создания в условиях плотной городской застройки.

Ключевые слова: скважина, штамп, фундамент, несущая способность, уплотнение.

В настоящее время работы, связанные с реконструкцией и восстановлением зданий и сооружений различного назначения, характеризуются значительным увеличением нагрузок на фундаменты, где особое значение приобретает применение в строительной практике прогрессивных технологий подготовки оснований и устройства свайных фундаментов в условиях существующей постройки [1, 2].

Одними из эффективных способов усиления грунтового основания фундамента являются технологии создания грунтовых свай [3–5]. Изготовление вокруг существующего фундамента подобных свай на уплотненном основании с образованием направленного уплотненного уширения рабочим органом специальной формы рассмотрено в [3]. На рис. 1 представлена технологическая последовательность выполнения операций усиления грунтового основания фундамента здания в условиях плотной городской застройки.

Позиция 1 — на расстоянии L от фундамента 1 погружают вдавливанием комплект рабочего органа, включающего штамп 2 и обсадную трубу 3 диаметром D , с образованием в основании предварительного уширения 4.

Позиция 2 — из обсадной трубы 3 выполняют подъем штампа 2.

Позиция 3 — производят через лоток 5 засыпку строительного материала 6, например, глину, в основание обсадной трубы 3.

Позиция 4 — подготавливают специальный штамп 7 для погружения в обсадную трубу 3.

Позиция 5 — погружают вдавливанием штамп 7 и выпрессовывают его наконечником из основания обсадной трубы 3 в строительный материал 6 для образования уплотненной зоны 8 под фундаментом 1.

Позиция 6 — осуществляют подъем штампа 7 из обсадной трубы 3 и засыпают через лоток 5 строительный материал 6 в обсадную трубу 3 и

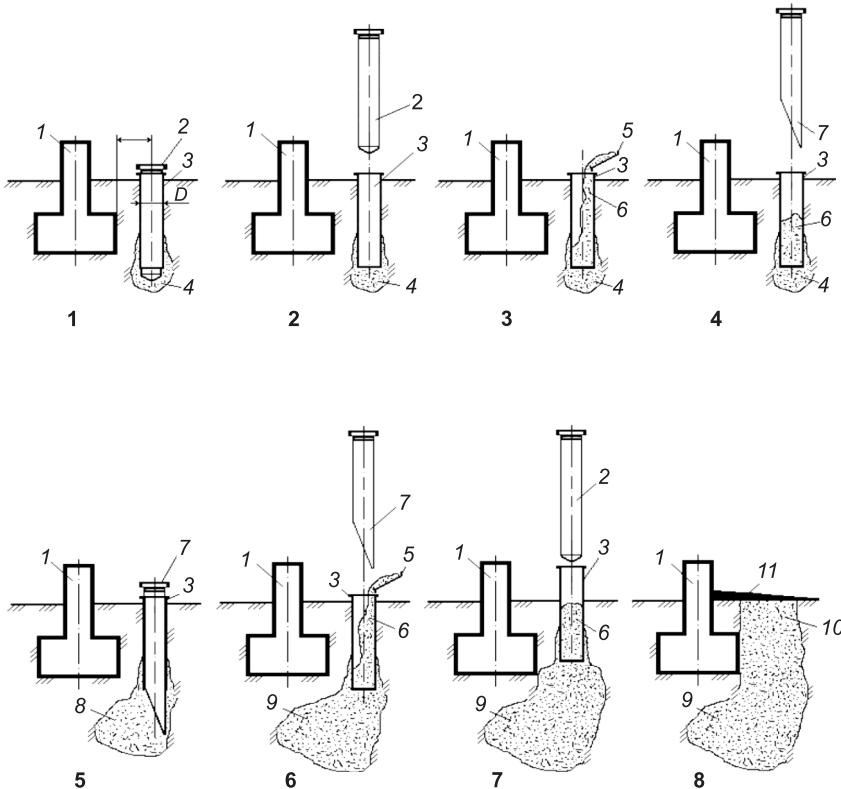


Рис. 1. Технологическая последовательность операций усиления грунтового основания фундамента здания в условиях плотной городской застройки

далее снова погружают вдавливанием штамп 7 до образования требуемой зоны уплотнения 9 под фундаментом 1.

Позиция 7 — осуществляют подъем штампа 7, производят его замену на штамп 2, обсадную трубу 3 предварительно немного извлекают, засыпают через лоток 5 строительный материал 6 в обсадную трубу 3 и погружают вдавливанием штамп 2, выпрессовывая им из обсадной трубы строительный материал 6 для образования требуемой зоны уплотнения под фундаментом. Данную операцию повторяют несколько раз до образования грунтовой набивной сваи 10 и далее для формирования требуемой уплотненной зоны около фундамента 1.

Позиция 8 — для предотвращения от разрушения под действием атмосферных осадков сформированной уплотненной зоны над ней устраивают защитный козырек (отмосток) 11, примыкающий к фундаменту 1.

После завершения всех перечисленных операций получают готовое упрочненное основание фундамента здания.

В руководствах по проектированию и производству работ при устройстве фундаментов ведущими НИИ России и Белоруссии [1, 2] рекомендовано коэффициент уплотнения грунта $K_{\text{упл}}$ в стенках скважины при погружении в него штампа принимать исходя из условия:

$$K_{\text{упл}} \geq 0,95. \quad (1)$$

Данный коэффициент представляет собой отношение фактического значения объемной массы скелета грунта к его максимальному значению,

получаемому по стандартному уплотнению при оптимальной влажности, или отношение конечной плотности ρ_1 грунта к его максимальному значению ρ_{\max} .

$$\frac{\rho_1}{\rho_{\max}} = K_{\text{упл}} \geq 0,95. \quad (2)$$

Максимальная плотность грунта в стенке скважины зависит от величины деформации самого грунта, которая в свою очередь обусловлена величиной действующих напряжений на контакте поверхности рабочего органа с грунтовым массивом.

Из условия сохранения массы грунта [1] имеем следующее выражение

$$V_0\rho = V_1\rho_1, \quad (3)$$

где V_0 , V_1 — соответственно объемы грунта в естественном и уплотненном состоянии;

ρ , ρ_1 — соответственно плотность грунта оснований фундамента до уплотнения и после уплотнения.

В общем случае для определения рационального расстояния от оси погружаемого рабочего органа до фундамента принимаем толщину уплотняемого слоя равной H :

$$V_0 = S_0 H, \quad (4)$$

$$V_1 = S_1 H, \quad (5)$$

где S_0 , S_1 — соответственно возможные площади поверхности грунта до и после уплотнения, $S_0 = \pi L^2$, $S_1 = \pi \left(L^2 - \frac{D^2}{4} \right)$;

H — условная высота слоя грунта при уплотнении;

L — расстояние от оси погружаемого рабочего органа до фундамента;

D — наружный диаметр рабочего органа.

Подставив выражения (4) и (5) в равенство (3), получим:

$$\rho \pi L^2 H = \rho_1 \pi \left(L^2 - \frac{D^2}{4} \right) H. \quad (6)$$

Решая равенство (6) с учетом (2) относительно L , получим:

$$L = \frac{D}{2 \sqrt{1 - \frac{\rho}{\rho_{\max} k_{\text{упл}}}}}. \quad (7)$$

Выражение (7) устанавливает взаимосвязь между расстоянием L от фундамента до оси погружения в грунт комплекта рабочего органа с обсадной трубой диаметром D и характеристиками грунтового массива.

Исследованиями установлено, что зона заметных радиальных перемещений частиц грунтового массива при погружении рабочего органа ограничивается окружностью с диаметром, равным 3–4 диаметрам вписанной окружности поперечного сечения самого рабочего органа [1].

Другим технологическим способом усиления грунтового основания и фундамента является изготовление вокруг него грунтовых свай на уп-

лотненном основании в скважинах с образованием уплотненного уширения в их основании и на дневной поверхности раскатывающим рабочим органом специальной формы [4]. На рис. 2 представлена технологическая последовательность выполнения операций усиления грунтового основания фундамента здания в условиях плотной городской застройки.

Позиция 1 — на расчетном расстоянии R , равном радиусу условного диаметра раскатываемого уширения и с требуемой глубиной от фундамента 1, пробуривают буровым шнеком 2 скважину 3.

Позиция 2 — из скважины 3 извлекают буровой шнек 2.

Позиция 3 — опускают на дно скважины 3 раскатывающий уширение рабочий орган 4 специальной формы.

Позиция 4 — производят одновременное вращение и постепенное раздвижение в поперечной плоскости подвижных элементов раскатывающего рабочего органа 4.

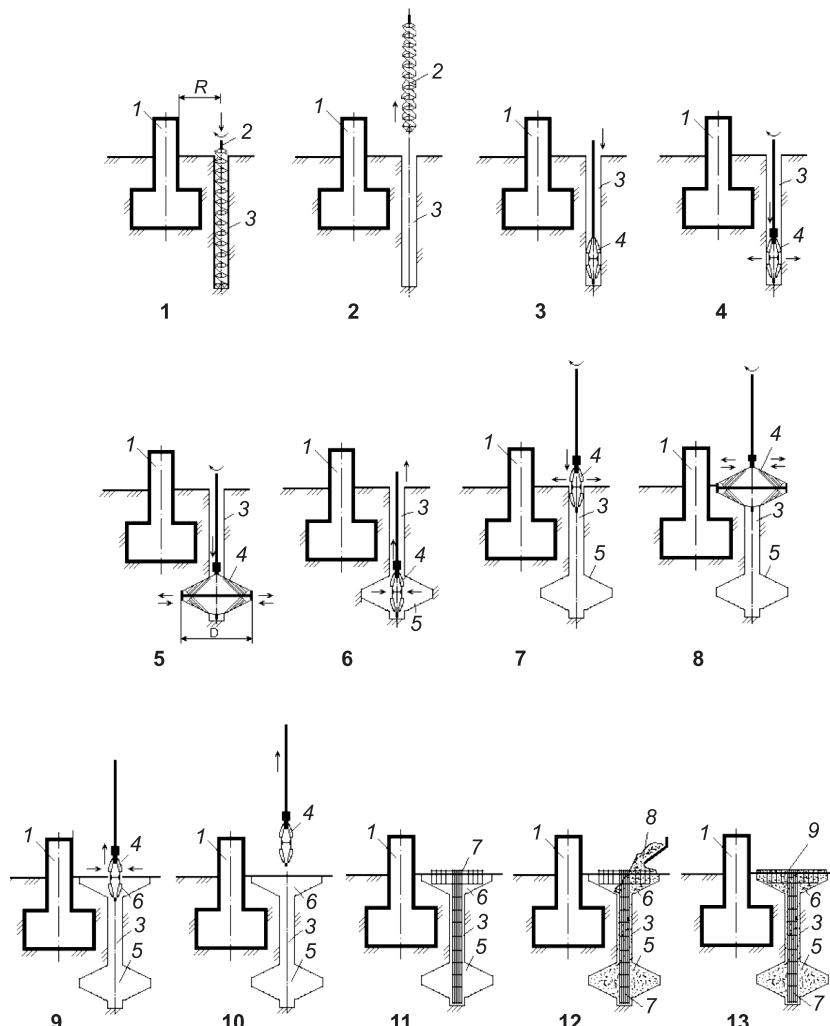


Рис. 2. Технологическая последовательность операций усиления фундамента здания в условиях плотной городской застройки

Позиция **5** — осуществляют образование уплотненного уширения подвижными элементами специальной формы раскатывающим рабочим органом *4*.

Позиция **6** — после образования уплотненного уширения *5* складывают раскатывающий рабочий орган *4* и осуществляют его подъем до устья скважины *3*.

Позиция **7** — в устье скважины *3* производят одновременное вращение и постепенное раздвижение в поперечной плоскости подвижных элементов раскатывающего рабочего органа *4*.

Позиция **8** — осуществляют образование в устье скважины *3* уплотненного уширения подвижными элементами специальной формы раскатывающим рабочим органом *4*.

Позиция **9** — после образования уплотненного уширения *5* в устье скважины *3* складывают раскатывающий рабочий орган *4* и осуществляют его подъем из устья скважины *3*.

Позиция **10** — готовая скважина с уплотненными уширениями в ее основании.

Позиция **11** — в скважину *3* опускают арматурный каркас *7*.

Позиция **12** — скважину *3* заливают товарным бетоном *8* с последующим его уплотнением вибратором.

Позиция **13** — готовая набивная свая *9*.

Для усиления фундамента здания по его периметру последовательно выполняют операции с поз. *1* по *13* с расстояниями между осями бурения, равными *D* условному диаметру раскатываемого уширения. После завершения всех перечисленных видов работ получают готовое упрочненное основание фундамента здания.

Для снижения затрат на усиление фундамента при изготовлении вокруг него набивных свай на уплотненном основании в скважинах с образованием уплотненного уширения в их основании и на дневной поверхности раскатывающим рабочим органом специальной формы выполняют следующую технологическую последовательность в условиях плотной городской застройки (рис. 3) [5]:

Позиция **1** — на расчетном расстоянии *L* от фундамента *1* устанавливают навесное оборудование *2* с раскатывающим рабочим органом, включающим в себя гипоциклоидальный профилировщик *3*, цилиндрический профилировщик *4* с диаметром *D* и конические вальцы с лидерным шнеком *5*.

Раскатывание уплотненных скважин с гипоциклоидальным поперечным сечением осуществляется на расстоянии *L*, определяемом выражением (7).

Позиция **2** — производят одновременное вращение и постепенное погружение раскатывающего рабочего органа на требуемую глубину с образованием уплотненной раскатанной скважины *6* с гипоциклоидальным поперечным сечением.

Позиция **3** — включают реверс вращения в навесном оборудовании *2* и осуществляют постепенное извлечение раскатывающего рабочего органа из уплотненной скважины *6*.

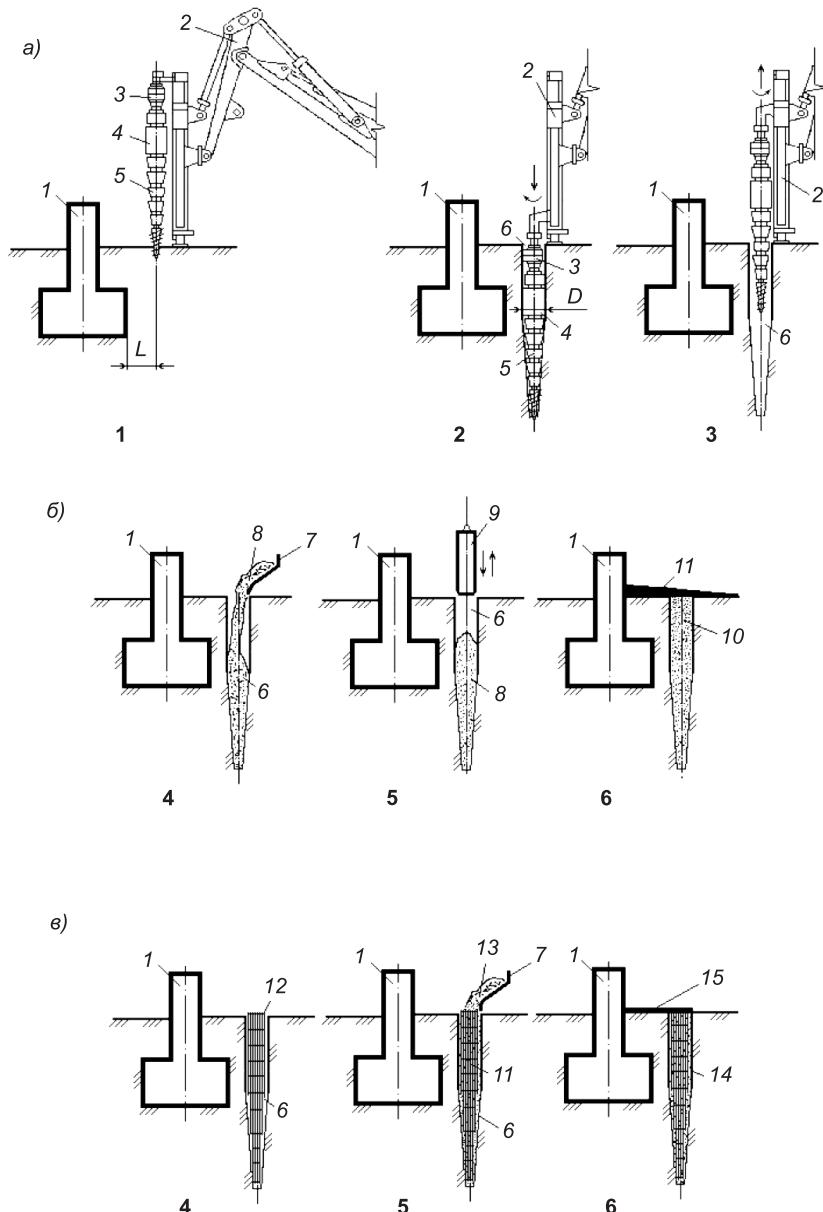


Рис. 3. Технологическая последовательность операций усиления фундамента здания в условиях плотной городской застройки

а — раскатывание скважины сложного профиля; б — изготовление грунтовой набивной сваи;
в — изготовление железобетонной набивной сваи

Конструкция раскатывающего рабочего органа предусматривает его соосное размещение гипоциклоидального профилировщика 3, цилиндрического профилировщика 4 и конические вальцы с лидерным шнеком 5 и совместное использование вращательного движения привода для последовательного завинчивания, раскатывания скважины и заключительного формирования поперечного сечения скважины заданной формы.

В зависимости от исходных параметров в конструкции формирователя результатом локального уплотнения стенок гипоциклоидальной сква-

жины может быть ее поперечное сечение в форме визуально-подобных треугольнику, квадрату, пятиугольнику и шестиугольнику.

Раскатывание уплотненных скважин с гипоциклоидальным поперечным сечением вокруг фундамента осуществляют в шахматном порядке и на расстоянии, равном $2L$, между их вертикальными осями.

Технологическая последовательность операций усиления грунтового основания и фундамента здания в условиях плотной городской застройки может быть выполнена с изготовлением грунтовой набивной сваи (см. рис. 3, б) или с изготовлением железобетонной набивной сваи (рис. 3, в).

Для обеспечения большей, в сравнении с соответствующей ей правильной n -угольной, удельной несущей способности сваи с поперечным сечением в виде укороченной гипоциклоиды, коэффициент скольжения λ должен быть в пределах [4]: $0,7 \leq \lambda < 1,0$.

Максимальное значение удельной несущей способности, при прочих равных параметрах, соответствует гипоциклоиде с тремя ветвями. После завершения перечисленных видов работ получают готовое упрочненное грунтовое основание или усиленный фундамент здания по всему его периметру.

Выполнение указанных последовательностей операций в технологии позволяет более качественно усилить грунтовое основание и фундамент здания, уменьшить расход строительных материалов (цемент, арматура, гравий и т.д.) и достичь требуемой несущей способности по грунту основания фундамента в условиях плотной городской застройки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А б р а м е н к о в, Э.А. Средства механизации для подготовки оснований и устройства фундаментов [Текст] / Э.А. Абраменков, В.В. Грузин. — Новосибирск : НГАСУ, 1999. — 215 с.
2. А б р а м е н к о в, Д.Э. Средства механизации строительства, реконструкции и реставрации зданий, сооружений: учебник [Текст] / Д.Э. Абраменков, Э.А. Абраменков, В.В. Грузин. — Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2006. — 320 с.
3. Г р у з и н, А.В. Технология и механизация работ по устройству свайных фундаментов на уплотненном основании [Текст] / А.В. Грузин, В.В. Грузин, Э.А. Абраменков // Изв. вузов. Строительство. — 2001. — № 7. — С. 57 –59.
4. А б р а м е н к о в, Д.Э. Строительные машины и оборудование в фундаментостроении: учебник [Текст] / Д.Э. Абраменков, Э.А. Абраменков, А.В. Грузин, В.В. Грузин. — Астана : Фолиант, 2011. — 296 с.
5. А б р а м е н к о в, Д.Э. Средства механизации и технология строительного производства: моногр. [Текст] / Д.Э. Абраменков, А.В. Грузин, В.В. Грузин; под общ. ред. д.т.н., проф. Э.А. Абраменкова. — Saarbrücken, Germany: Palmarium academic publishing, 2012. — 327 с.

ГРУЗИН Владимир Васильевич, д-р техн. наук, проф.

Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, г. Астана

АБРАМЕНКОВ Дмитрий Эдуардович, д-р техн. наук, проф.

Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск

ГРУЗИН Алексей Владимирович, асп.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

УГАЙ Всееволод Владимирович, асп.

Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск

Gruzin Vladimir Vasilevich, doctor of technical sciences, professor, S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, Astana, Kazakhstan

Abramenkov Dmitry Eduardovich, doctor of technical sciences, professor, Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

Gruzin Alexey Vladimirovich, post-graduate student, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Ugai Vsevolod Vladimirovich, post-graduate student, Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

IMPROVED TECHNOLOGY BOOST SUBGRADE BUILDINGS AND FACILITIES

The variants of the effective ways to strengthen the subgrade foundation and workflow technologies for their creation in dense urban areas.

Key words: well, stamp, foundation, bearing resistance, seal.

REFERENCES

1. Abramenchikov, E.A. Means of mechanization for preparation of the bases and the device of the bases [Text] / E.A. Abramenchikov, V.V. Gruzin. — Novosibirsk : NSUACE, 1999. — 215 p.
2. Abramenchikov, D.E. Means of mechanization of construction, reconstruction and restoration of buildings, facilitys: Textbook [Text] / D.E. Abramenchikov, E.A. Abramenchikov, V.V. Gruzin. — Novosibirsk : NSUACE (Sibstrin), 2006. — 320 p.
3. Gruzin, A.V. Technology and mechanization of work to construct pile foundations on the condensed footing [Text] / A.V. Gruzin, V.V. Gruzin, E.A. Abramenchikov // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2001. — N 7. — P. 57–59.
4. Abramenchikov, D.E. Construction machinery and equipment in foundation engineering: Textbook [Text] / D.E. Abramenchikov, E.A. Abramenchikov, A.V. Gruzin, V.V. Gruzin. — Astana : Folio, 2011. — 296 p.
5. Abramenchikov, D.E. Mechanization and building technology: monograph [Text] / D.E. Abramenchikov, A.V. Gruzin, V.V. Gruzin; under society. ed. prof. E.A. Abramenchikov. — Saarbrucken, Germany : Ralmarium academic publishing, 2012. — 327 p.

САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА

УДК 628.33

Е.Л. ВОЙТОВ, Ю.Л. СКОЛУБОВИЧ, А.Е. КРУТКОВ

ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ И ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОМЫВНЫХ ВОД ВОДОПРОВОДНЫХ СТАНЦИЙ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДОИСТОЧНИКОВ

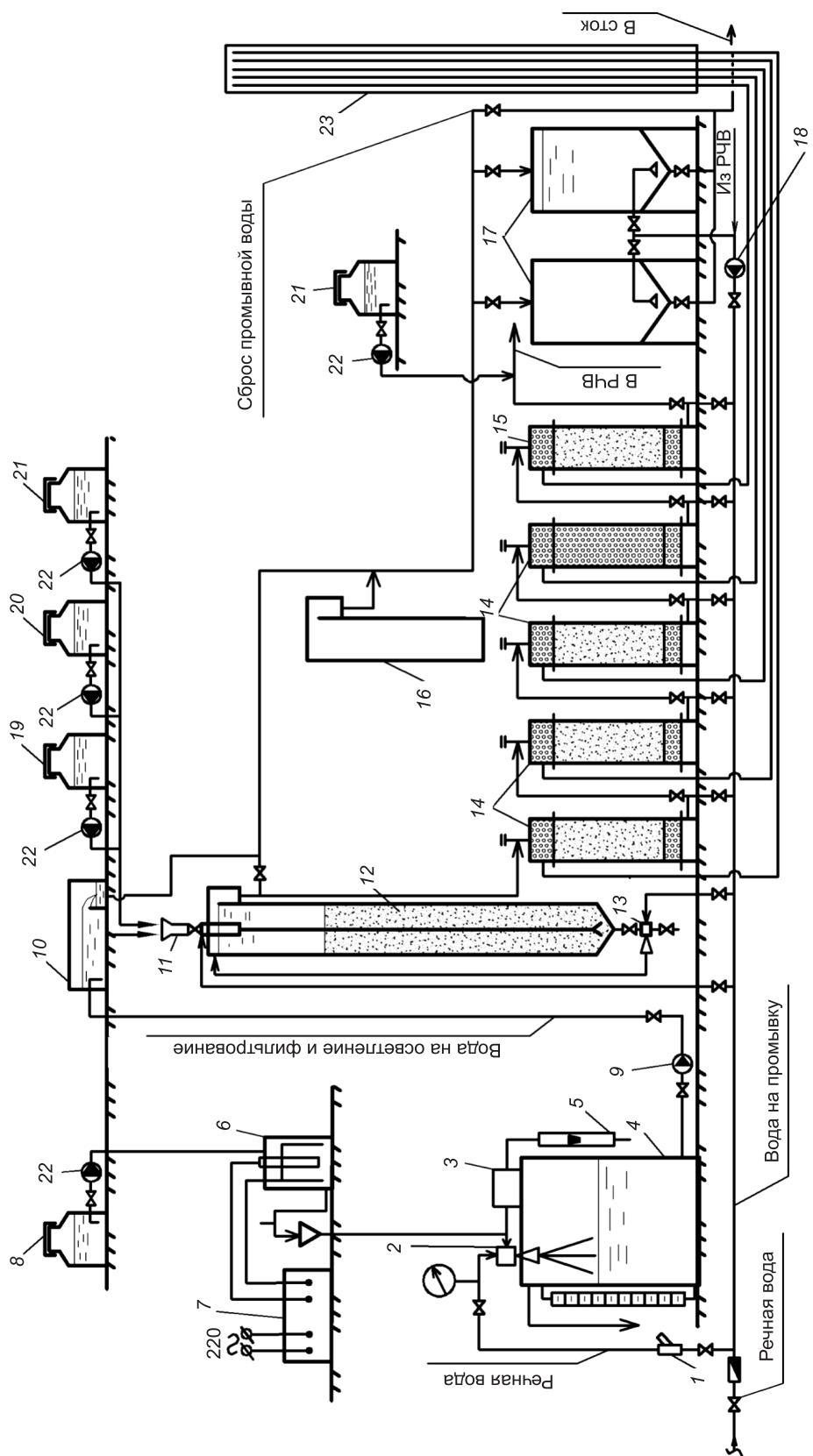
Рассмотрены вопросы интенсификации процессов обработки промывных вод фильтровальных сооружений водоочистных станций открытых водоисточников. Приведены результаты экспериментальной работы по исследованию эффективности, разработке и обоснованию технологии очистки промывных вод фильтровальных сооружений водоочистных станций. Разработана новая двухступенчатая технология очистки и многократного повторного использования промывных вод насосно-фильтровальных станций очистки поверхностных вод. Технология обеспечивает нормативное качество промывных вод и позволяет использовать их повторно для промывки реакторов-осветлителей и фильтров, снижает объем осадка, стоимость его обезвоживания или перевозки на канализационную станцию для утилизации. Повышается технологическая, экономическая эффективность осветления и утилизации промывных вод фильтровальных сооружений станций водоподготовки.

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

Согласно рекомендациям СНиП 2.04.02-84 [1] на станциях водоподготовки промывные воды фильтровальных сооружений в зависимости от технологии подготовки рекомендуется перекачивать в голову очистных сооружений после их осветления в отстойниках или без предварительного отстаивания. Допускается использование осветленной промывной воды для промывки контактных осветлителей с учетом требований СНиП.

Опыт эксплуатации очистных сооружений природных вод выявил некоторые недостатки технологической схемы утилизации промывных вод с их возвратом в голову водоочистных сооружений. К недостаткам относятся: увеличение гидравлической нагрузки на основные сооружения очистки, сложность обеспечения постоянства концентрации загрязнений в промывной воде, подаваемой в головные водоочистные сооружения, подбора рабочих доз реагентов для оптимального протекания процесса очистки природных вод и т.п.

Технологически и экономически целесообразно выделять промывные воды фильтровальных сооружений из основного процесса водоподготовки и использовать их после очистки по другому назначению, например, для той же промывки фильтров. Однако промывку скорых фильтров реко-



мендуется проводить фильтрованной водой [1]. Таким образом, качество промывных вод, используемых для повторных промывок фильтров, должно соответствовать качеству очищенных природных вод.

В НГАСУ (Сибстрин) разработана технология осветления и повторного использования промывных вод фильтровальных сооружений станций водоподготовки, включающая обработку воды коагулянтом, отстаивание в отстойнике-накопителе, осветление в реакторе-осветлителе [2], сбор и хранение в резервуаре очищенной промывной воды и использование в замкнутом цикле промывки фильтров. Применение в технологии комплексного коагулянта из смеси водных растворов сульфата (СА) и оксихлорида алюминия (ОХА) в соотношении доз 2:1 по оксиду алюминия повышает качество очищаемой воды и снижает объем образующегося осадка. Последующее осветление на реакторе-осветлителе обеспечивает высокое качество осветленной промывной воды, соответствующее качеству фильтрованной воды и отвечающее нормативным требованиям к водам, используемым повторно для промывки фильтровальных сооружений станций водоподготовки [1]. Уменьшение объема осадка, получаемого в процессе реагентной обработки промывной воды смесью сульфата и оксихлорида алюминия, снижает стоимость его обезвоживания или перевозки для утилизации.

Разработанная технология очистки и утилизации промывных вод фильтровальных сооружений исследована в натурных условиях станции очистки речных вод г. Куйбышева Новосибирской области. Схема установки представлена на рис. 1. Установка включала в свой состав модели основных сооружений новой технологической схемы очистки речной воды, разработанной в НГАСУ (Сибстрин) [3]. Она состояла из оборудования для предварительного окисления и обеззараживания речной воды 1–8; перекачки и дозирования 9–11; осветления в слое взвешенной контактной загрузки 12; скорого фильтрования 14 и сорбции очищаемой воды 15; сбора, очистки и многократного использования промывной воды 12, 16–18. Реактор-осветлитель 12 имел двойное назначение: для очистки речной и доочистки промывной воды путем соответствующих переключений трубопроводов, предусмотренных в конструкции установки. На установку подавалась исходная вода р. Омь и производилась ее реагентная очистка. Температура воды составляла 4 °C; мутность — 7,2 мг / л; цветность — 180 град.; щелочность — 5,8 ммоль / л; окисляемость — 24 мг O₂ / л; концентрация железа — 1,93 мг / л; концентрация марганца — 0,31 мг / л; концентрация алюминия 0,35 мг / л. В процессе очистки достигалось качество питьевой воды. Промывка реактора-осветителя и скорого фильтра производилась очищенной промывной во-



Рис. 1. Технологическая схема экспериментальной установки

1 — сетчатый фильтр; 2 — эжектор; 3 — озонатор; 4 — контактный бак; 5 — ротаметр; 6 — электролизер; 7 — трансформатор; 8 — солевой бак; 9 — подкачивающий насос; 10 — бак постоянного уровня; 11 — воздухоотделитель; 12 — реактор-осветлитель; 13 — промывной эжектор; 14 — модель скорого фильтра; 15 — модель сорбционного фильтра; 16 — съемная промывная головка фильтров; 17 — баки исходной и очищенной промывной воды; 18 — насос подачи промывной воды; 19–21 — баки коагулянта, флокуланта, гипохлорита натрия соответственно; 22 — дозировочные насосы; 23 — пьезометрический щит

дой раз в сутки. Забор очищенной промывной воды для промывки фильтровальных сооружений осуществлялся из левого бака промывной воды 17 насосом 18. Отработанная промывная вода с введенными в нее реагентами сбрасывалась в правый бак 17. После 2-часового отстаивания промывной воды выделившийся осадок направлялся на утилизацию, а осветленная вода подавалась насосом 18 для доочистки на реактор-осветитель. Очищенная промывная вода, минуя фильтры, по сбросному трубопроводу направлялась для хранения в левый бак промывной воды 17.

Выбор эффективных реагентов и определение оптимальных доз коагулянтов и флокулянтов для обработки промывной воды произведены на основании результатов пробного коагулирования и отстаивания проб воды в стеклянных цилиндрах емкостью 1 л, проведенных по стандартным методикам в лаборатории станции [4]. Исследованы на эффективность следующие реагенты: СА, ОХА, СК-1, Праестол 650 ТР. Комплексный коагулянт СК-1, разработанный в НГАСУ (Сибстрин), представляет собой смесь водных растворов СА и ОХА в соотношении 2:1 по Al_2O_3 [5]. Результаты исследования коагулирования и осветления отработанной промывной воды фильтров приведены в таблице и на рис. 2.

Результаты экспериментальных исследований очистки промывных вод

Параметр	Способ очистки промывной воды, вводимые реагенты		
	отстаивание, (СА/ОХА) + + Праестол	отстаивание, СК-1 + Праестол	отстаивание и осветление на РО СК-1 + Праестол
<i>Качество исходной промывной воды</i>			
Мутность, мг/л	160	160	160
Цветность, град.	140	140	140
Окисляемость, мг O_2 /л	19	19	19
Содержание железа, мг/л	1,52	1,52	1,52
Содержание марганца, мг/л	0,29	0,29	0,29
Дозы реагентов, мг/л	25/22 + 0,05	18 + 0,05	18 + 0,05
<i>Качество очищенной промывной воды</i>			
Мутность, мг/л	7,1/5,2	4,3	1,1
Цветность, град.	24/19	17	6
Окисляемость, мг O_2 /л	4,3/3,2	2,6	1,3
Содержание железа, мг/л	0,94/0,36	0,23	0,12
Содержание марганца, мг/л	0,12/0,10	0,10	0,06
Содержание алюминия, мг/л	0,15/0,07	0,07	0,05
Объем осадка в отстойнике, % от объема промывной воды	12 / 18	13	13

В результате экспериментов определены оптимальные дозы реагентов, обеспечивающие минимальную мутность и цветность осветленной промывной воды. Доза сульфата алюминия составила 25 мг/л, оксихлорида алюминия — 22 мг/л с добавлением флокулянта с дозой 0,05 мг/л (см. таблицу). При использовании коагулянта СА качество отстоянной

воды было более низкое, чем с применением ОХА, однако получен более плотный гидроксидный осадок меньшего объема относительно объема промывных вод. В результате обработки промывной воды смесью коагулянтов СА и ОХА в соотношении 2:1, вследствие синергетического эффекта при их совместном применении и использования флокулянта, получено наиболее высокое качество отстоянной воды: 4,3 мг/л — по мутности, 17 град. — по цветности, 0,23 и 0,10 мг/л — по содержанию железа и марганца соответственно. При этом произошло образование плотных хлопьев гидроксида алюминия и на 30 % сокращен объем осадка по сравнению с его объемом, получаемым при использовании ОХА.

По результатам лабораторных исследований для обработки промывной воды на производственной экспериментальной установке принят коагулянт СК-1, представляющий собой смесь сульфата и оксихлорида алюминия при соотношении доз 2:1 с добавлением флокулянта Праестол 650 ТР. Обработанная и отстоянная в левом баке-накопителе 17 промывная вода, подаваемая насосом 18 через воздухоотделитель 11, была доочищена на реакторе-осветлителе 12, что обеспечило ее питьевое качество по мутности, цветности, содержанию железа и марганца.

Очищенная вода направлена в левый бак хранения очищенной промывной воды 17. Осветленная вода из бака очищенной промывной воды использована для промывки фильтров после следующего фильтроцикла. Осадок промывной воды подвергнут сгущению и использован в качестве реагента при экспериментальном обезвоживании осадка канализационной очистной станции [6]. Потери промывной воды при отводе осадка из баков восполнены сбросом первого фильтрата скрых фильтров в баки промывной воды в размере до 5 % от общего объема промывной воды ежесуточно.

Результаты исследований использованы при разработке проекта реконструкции узла очистки и повторного использования промывных вод и осадка насосно-фильтровальной станции г. Куйбышева Новосибирской области.

Выводы. В результате экспериментальных исследований разработана технология обработки промывных вод фильтровальных сооружений станций очистки поверхностных вод. Технология обеспечивает нормативное качество промывных вод и позволяет использовать их повторно для промывки фильтровальных сооружений, снижает объем осадка, стои-

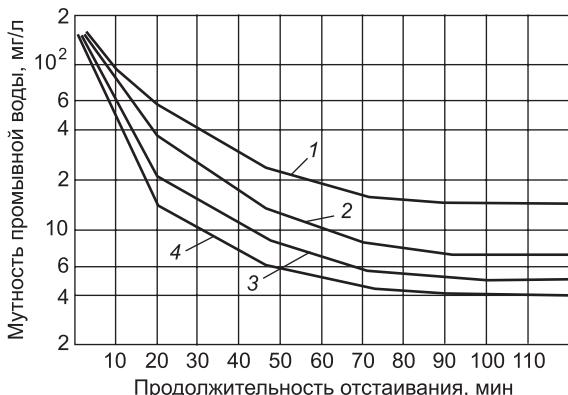


Рис. 2. Зависимость мутности промывной воды от времени отстаивания при обработке реагентами и без них

1 — без реагента; 2 — сульфат алюминия; 3 — оксихлорид алюминия; 4 — СК-1

мость его обезвоживания или перевозки на канализационную станцию для утилизации. При этом повышается технологическая, экономическая эффективность осветления и утилизации промывных вод фильтровальных сооружений станций водоподготовки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП 2.04.02–84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения [Текст] / Госстрой СССР. — М. : Стройиздат, 1986. — 136 с.
2. Пат. 23070754, РФ, МПК C02F 1/52. Устройство для очистки воды [Текст] / Е.Л. Войтов, Ю.Л. Сколубович // Изобретения. Полезные модели. — 2007. — № 27.
3. Сколубович, Ю.Л. Повышение эффективности работы водопроводных станций [Текст] / Ю.Л. Сколубович, Е.Л. Войтов, А.М. Никитин // Водоснабжение и сан. техника. — 2011. — № 2.
4. Драгинский, В.Л. Методики проведения технологических изысканий и моделирования процессов очистки воды на водопроводных станциях [Текст] / В.Л. Драгинский, Л.П. Алексеева. — М. : НИИ КВОВ, Водкоммунтех, 2001.
5. Войтов, Е.Л. Подготовка питьевой воды из подземных источников в экологически неблагоприятных регионах [Текст] / Е.Л. Войтов, Ю.Л. Сколубович. — Новосибирск, НГАСУ (Сибстрин), 2010. — 216 с.
6. Пат. 2246452, РФ, МПК C 02F 11/12. Способ совместного обезвоживания осадков станций очистки природных и сточных вод [Текст] / Ю.Л. Сколубович, Е.Л. Войтов, Л.Н. Савельева // Изобретения. Полезные модели. — 2005. — № 5.

ВОЙТОВ Евгений Леонидович, д-р техн. наук, доц.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

СКОЛУБОВИЧ Юрий Леонидович, д-р техн. наук, проф.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

КРУТКОВ Алексей Евгеньевич, асп.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено 14.05.14

Voitov Evgeniy Leonidovich, doctor of technical sciences, assistant professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Skolubovich Yury Leonidovich, doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Krutkov Alexey Evgenyevich, post-graduate student, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

THE TECHNOLOGY OF CLEANING AND REUSING WASH WATER WATERWORKS SURFACE WATER SOURCES

The questions of process intensification processing wash water filtration-shaft structures of wastewater treatment plants open water sources. Shows the results of experimental studies of effectiveness, development and justification of purification technology wash water filtration water treatment plant stations. A new two-stage purification technology and multiple re-use wash water pumping and filtration surface water treatment plants. The technology provides a standard quality of washing water and allows using them again to rinse reactors clarifiers and filters, reduces the amount of sludge dewatering cost or transportation to the sewer plant for

recycling. Increased technological, economic efficiency lighting and utilization wash water filtering facilities of water treatment plants.

Key words: wash water, lighting, storage sump, reactor-clarifier, coagulant, seal, sulfate, aluminum oxchloride, sediment, experimental setup, dehydration.

REFERENCES

1. SNiP 2.04.02–84. Water supply. External networks and structures [Text] / Gosstroy USSR. — M. : Stroyizdat, 1986. — 136 p.
 2. Pat. 23070754, RF, IPC C02F 1/52. Water purification device [Text] / E.L. Voitov, Yu.L. Skolubovich // Inventions. Utility models. — 2007. — N 27.
 3. Skolubovich, Yu.L. Increased efficiency waterworks [Text] / Yu.L. Skolubovich, E.L. Voitov, A.M. Nikitin // Water and san. tehnika. — 2011. — N 2.
 4. Draginsky, V.L. Techniques of research and technological modeling of water treatment processes on the waterworks [Text] / V.L. Draginsky, L.P. Alekseeva. — M. : NII KVOV, Vodkommuntech, 2001.
 5. Voitov, E.L. Preparing drinking water from underground sources ecologically unfavorable regions [Text] / E.L. Voitov, Yu.L. Skolubovich. — Novosibirsk : NGASU (Sibstrin), 2010. — 216 p.
 6. Pat. 2246452, RF, IPC C 02F 11/12. Way to share dewatering treatment plants and natural wastewater [Text] / Yu.L. Skolubovich, E.L. Voitov, L.N. Saveleva // Inventions. Utility models. — 2005. — N 5.
-

УДК 628.35.001.24

В.Н. КУЛЬКОВ, Е.Ю. СОЛОПАНОВ, Е.В. КУДРЯВЦЕВА

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Получена многопараметрическая математическая модель водовоздушной регенерации иммобилизованного ила на ершовой загрузке с использованием физической модели аэротенка-биореактора. Определена эффективность регенерации от количества форсунок, времени регенерации, интенсивности регенерационного факела по воде и воздуху, объема аэротенка-биореактора обрабатываемого одной форсункой, интенсивности мелкопузырчатой аэрации водо-иловой смеси. Модель позволила получить геометрический образ поверхности эффективности регенерации, отражающий влияние всех вышеперечисленных параметров.

Ключевые слова: математическая модель, аэротенк-биореактор, синтетическая ершовая загрузка, водовоздушная регенерация, иммобилизованный ил, эффективность регенерации.

Ершовая синтетическая загрузка предназначена для использования в качестве объемной загрузки для интенсификации работы аэротенков с целью увеличения скорости окисления загрязнений и достижения требуемого качества очистки воды. Загрузка увеличивает производительность станции биологической очистки на ~30 %, улучшает процесс очистки стоков от трудноокисляемых органических веществ, повышает устойчивость биологических сооружений к залповым сбросам, обеспечивает процесс нитрификации [1].

Для поддержания иммобилизованного ила в активном состоянии необходима периодическая регенерация синтетической загрузки [1, 2]. Подбор оптимальных технологических параметров водовоздушной очистки по количеству форсунок, времени регенерации, интенсивности регенерационного факела по воде и воздуху, объему аэротенка-биореактора, обрабатываемого одной форсункой с высокой эффективностью регенерации и интенсивности мелкопузырчатой аэрации водо-иловой смеси, проводили с использованием физической модели, представляющей плоскостной вертикальный поперечный разрез объемного биореактора. В модельной ячейке объемом 0,08 м³ размещали 7 вертикальных ершей длиной 0,62 м и диаметром 0,05 м, а их водовоздушная регенерация обеспечивалась эжекционными форсунками [3].

Для моделирования процесса эффективности водовоздушной регенерации иммобилизованного ила использовали метод алгебраической геометрии, основанный на построении гиперповерхности, «натянутой» на связку сечений, проходящих через общую точку [4]. Суть метода заключается в следующем: в результате экспериментальных исследований¹ получаем дискретные значения параметров, зависящих от $n - 1$ зависимых

¹ В экспериментальных исследованиях принимал участие А.М. Зеленин.

или независимых друг от друга аргументов x_1, x_2, \dots, x_{n-1} . Моделируем зависимость

$$F(t, x_1, x_2, x_3, \dots, x_{(n-1)}) = 0 \quad (1)$$

и получаем ее уравнение. С точки зрения геометрии, в n -мерном пространстве имеем набор фиксированных точек, на которые «натягивается» гиперповерхность и выводится ее уравнение.

При использовании данной методики моделирования гиперповерхности (1) берем экспериментальную точку $A(t, x_1, x_2, x_3, \dots, x_{(n-1)}) = 0$, через которую проводим n взаимно перпендикулярных плоскостей α_i ($i=1, 2, \dots, n-1$), в каждой из которых лежат точки данных массивов. В каждой из плоскостей α_i моделируются аппроксимирующие или интерполирующие одномерные образующие и параметроносители моделируемой гиперповерхности [4]:

$$\begin{aligned} t = & \frac{1}{n} ((a_{01} + a_{02} + \dots + a_{0(n-1)}) + (a_{11}x_1 + a_{02}x_2 + \dots + a_{0(n-1)}x_{n-1}) + \\ & + (a_{21}x_1^2 + a_{22}x_2^2 + \dots + a_{2(n-1)}x_{n-1}^2)). \end{aligned} \quad (2)$$

Моделируемая гиперповерхность второго порядка будет тем точнее, чем меньше окрестность исследования [4]. Для получения математической модели использовали данные из табл. 1.

Таблица 1. Исходные параметры и соответствующая эффективность регенерации

k , шт.	V , м ³	J_f , м ³ /(м ² · ч)	J_g , м ³ /(м ² · ч)	τ , с	J_a , м ³ /(м ² · ч)	\mathcal{E} , %
1	0,08					78,5
2	0,04					85
4	0,02					89,8
6	0,013					94,5
6		37,91	0			65,2
6		43,9	3,07			68,2
6		46,97	10,75			70
6		48,51	12,28			71,2
6		49,73	15,35			72,1
6		54,95	19,96			73,3
6		54,95	19,96			72,3
6				15		71
6				30		73,05
6				45		73,23
6				60		74,48
6				90		74,87
6					7,47	93,53
6					9,12	93,49
6					11,25	93,45
6					12,79	93,38
7	0,086	62,01	25,73	85,73	5,2	Оптимум параметра
94,9	74,45	73,62	73,17	74,9	93,54	Оптимум эффективности параметра

Предполагаемая математическая модель системы, включающая один зависимый и пять независимых параметров, имеет следующий вид:

$$\Theta = f(k, V, J_f, J_g, \tau, J_a) = 0, \quad (3)$$

где Θ — эффективность регенерации, %;

k — количество форсунок, шт.;

V — объем биореактора, обрабатываемый одной форсункой, м³;

J_f — интенсивность водной регенерации, м³/(м² · ч);

J_g — интенсивность воздушной регенерации, м³/(м² · ч);

τ — время, с;

J_a — интенсивность мелкопузырчатой аэрации, м³/(м² · ч).

Рассмотрим влияние данных параметров на эффективность регенерации загрузки, для чего получим уравнения следующих парных зависимостей:

$$\Theta = f(k); \quad \Theta = f(V); \quad \Theta = f(J_f); \quad \Theta = f(J_g); \quad \Theta = f(\tau); \quad \Theta = f(J_a). \quad (4)$$

Анализ исходных данных показал, что все парные зависимости (4) могут быть описаны уравнением полинома второго порядка

$$\Theta = a_0 + a_1 x + a_2 x^2, \quad (5)$$

где x — независимые параметры: $k, \tau, J_f, J_g, V, J_a$ (рис. 1).

Полученное уравнение (5) исследуем на оптимальные значения входных и выходного параметров, для чего приравняем нулю $d\Theta/dx$:

$$d\Theta/dx = a_1 + 2a_2 x = 0. \quad (6)$$

Из уравнения (6) определяем x , значение которого будет соответствовать максимуму полученных уравнений второго порядка:

$$x = -a_1 / (2a_2). \quad (7)$$

Подставляя x в уравнение (5), определяем оптимальную эффективность соответствующей зависимости.

Зависимость, приведенная на рис. 1, a , характеризует влияние количества форсунок на эффективность регенерации иммобилизованного ила и с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,98$ описывается уравнением

$$\Theta_k = 73,73065 + 5,823k - 0,40038k^2. \quad (8)$$

Рассчитаем оптимальное значение $k^{\text{опт}}$ и $\Theta_k^{\text{опт}}$. Используя уравнения (6) и (7), имеем

$$d\Theta_k/dk = 5,823 - 2 \cdot 0,40038k = 0,$$

$$k^{\text{опт}} = 5,823 / (2 \cdot 0,40038) = 7,2715 \approx 7.$$

Подставив $k^{\text{опт}} = 7,2715$ в уравнение (5), получим $\Theta_k^{\text{опт}} = 94,9$ %, т.е. оптимальную эффективность для этого параметра (см. табл. 1). Таким образом, предельное количество форсунок $k \leq 7$.

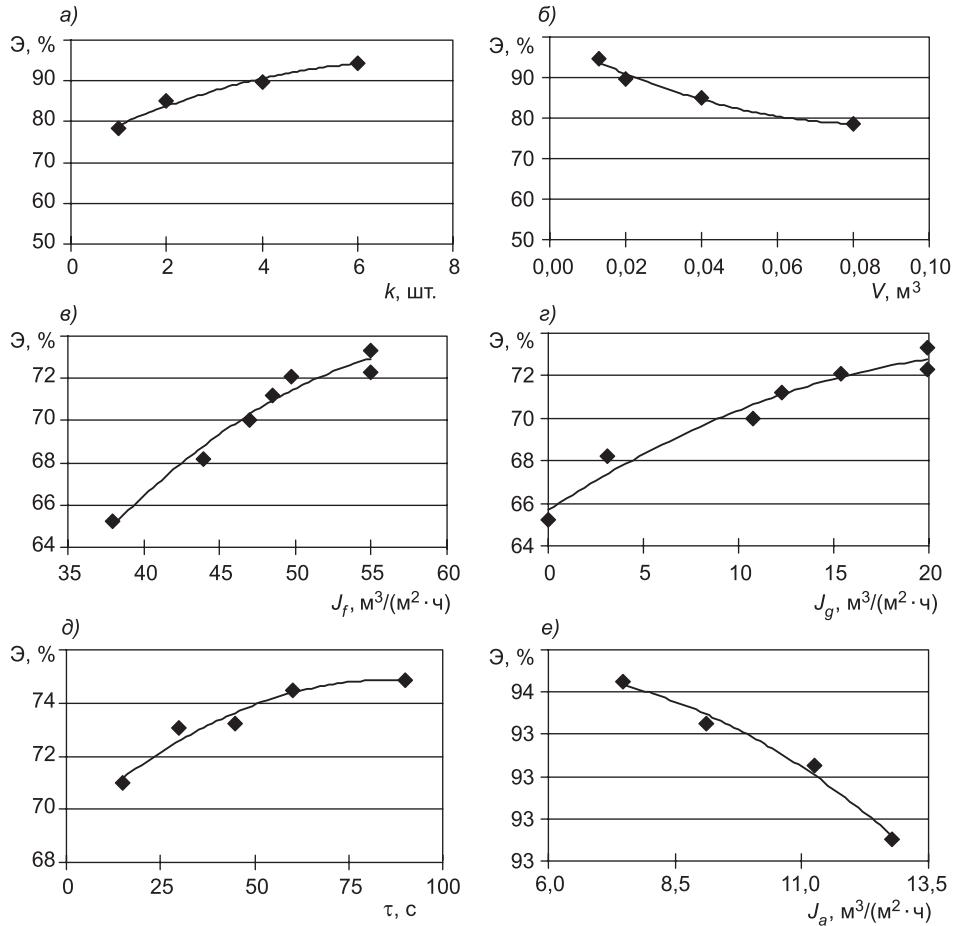


Рис. 1. Зависимость эффективности регенерации иммобилизованного ила:

а — от количества форсунок; б — объема биореактора, обрабатываемого одной форсункой; в — интенсивности водной регенерации; г — интенсивности воздушной регенерации; д — времени регенерации; е — интенсивности мелкопузырчатой аэрации водно-иловой смеси

Зависимость, представленная на рис. 1, б, характеризует влияние объема модели, обрабатываемого одной форсункой, на эффективность регенерации:

$$\mathcal{E}_V = 99,6325 - 490,6834V + 2841,0261V^2 \quad (9)$$

с коэффициентом $R^2 = 0,98$. По выражениям (5)–(7) рассчитали оптимальные значения $V^{\text{опт}} = 0,086 \text{ м}^3$ и $\mathcal{E}_V^{\text{опт}} = 74,75\%$.

Анализ уравнений (8) и (9) показал, что эффективность работы системы в значительной мере зависит от количества форсунок, причем совместная работа шести форсунок обеспечивает наибольшую эффективность. Дальнейшее изучение влияния других параметров на эффективность работы системы осуществляли с использованием шести форсунок (см. табл. 1). Поэтому из уравнения (3) исключили параметр k :

$$\mathcal{E} = f(V, J_f, J_g, \tau, J_a) = 0. \quad (10)$$

Зависимости эффективности регенерации от интенсивности водной и воздушной регенерации, времени регенерации и интенсивности мелкопу-

зырчатой аэрации водно-иловой смеси, представленные на рис. 1, *в–е*, описываются соответствующими уравнениями:

$$\Theta_{J_f} = 16,3309 + 1,8478J_f - 0,0149J_f^2, R^2 = 0,970; \quad (11)$$

$$\Theta_{J_g} = 65,6833 + 0,5815J_g - 0,0113J_g^2, R^2 = 0,961; \quad (12)$$

$$\Theta_\tau = 69,43402 + 0,12688\tau - 0,00074\tau^2, R^2 = 0,953; \quad (13)$$

$$\Theta_{J_a} = 93,468 + 0,02816228J_a - 0,0027154J_a^2, R^2 = 0,985. \quad (14)$$

Оптимальные значения параметров $J_f^{\text{опт}}$, $J_g^{\text{опт}}$, $\tau^{\text{опт}}$ и $J_a^{\text{опт}}$ (см. табл. 1) и оптимальные эффективности для них, найденные аналогично вышеприведенным расчетам, составляют соответственно:

$$\Theta_{J_f}^{\text{опт}} = 73,62\%; \Theta_{J_g}^{\text{опт}} = 73,17\%; \Theta_\tau^{\text{опт}} = 74,9\% \text{ и } \Theta_{J_a}^{\text{опт}} = 93,54\%.$$

Для построения геометрической модели поверхности в качестве одномерных образующих взяли аппроксимирующие параболы второго порядка (9), (11)–(14). Для вывода уравнения моделируемой поверхности просуммировали эти выражения и получили уравнение поверхности:

$$\begin{aligned} \Theta = & (68,9102) + (-98,137V + 0,3696J_f + 0,1163J_g + 0,025376\tau + 0,00564J_a) + \\ & +(568,205V^2 - 0,00298J_f^2 - 0,00226J_g^2 - 0,000148\tau^2 + 0,000544J_a^2). \end{aligned} \quad (15)$$

Анализ уравнения (15) показал, что при подстановке оптимальных параметров из табл. 1 эффективность составляет $\sim 79\%$, что практически совпадает со средним значением эффективности $\bar{\Theta}$:

$$\bar{\Theta} = (74,45 + 73,62 + 73,17 + 74,9 + 93,54) / 5 \approx 78\%.$$

По уравнению (15) построена геометрическая модель поверхности эффективности (10) (рис. 2). Вертикальная ось — эффективность регенерации Θ , %, а горизонтальные оси — независимые параметры: 1 — V ; 2 — J_f ; 3 — J_g ; 4 — τ ; 5 — J_a , и ряды — количество экспериментальных

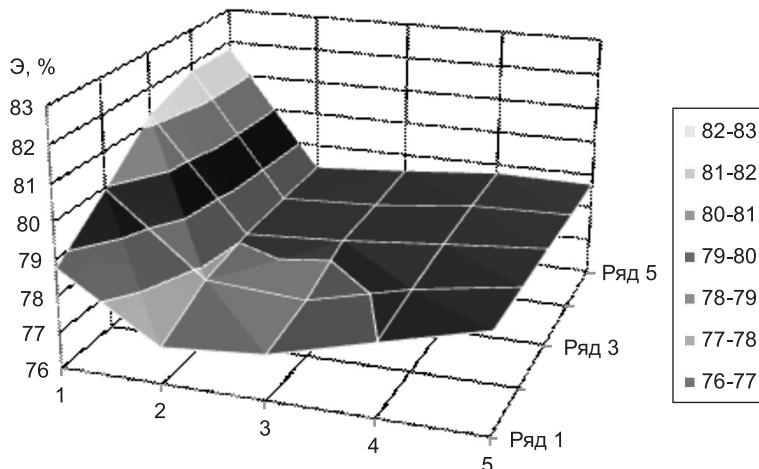


Рис. 2. Геометрическая интерпретация модели по пяти независимым параметрам

Таблица 2. Исходные данные для построения поверхности эффективности

Ряды	Входные параметры				
	$V, \text{ м}^3$	$J_f, \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	$J_g, \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	$\tau, \text{ с}$	$J_a, \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{ч})$
	Эффективность, %				
1	78,75439	77,00013	77,23523	77,99103	78,72859
2	79,95249	77,75371	77,57097	78,27177	78,72859
3	81,23338	78,05705	78,22428	78,48591	78,72301
4	81,78909	78,18805	78,32259	78,63345	78,71142
5	81,78909	78,2818	78,48793	78,72873	78,69996

данных для расчета эффективности (для построения использовали 5 рядов). С помощью модели (15) можно проектировать и осуществлять процесс эффективной регенерации ершовой загрузки с заданными пятью входными параметрами.

В табл. 2 представлена исходная матрица значений эффективности, рассчитанных по уравнению (15), для построения поверхности, приведенной на рис. 2.

Данная модель построена без учета количества форсунок. Однако по данным табл. 1 видно, что эффективность регенерации ила повышается при увеличении числа форсунок, при этом на каждую форсунку приходится $1/k$ объема модели. Оптимальная эффективность при использовании семи форсунок составила ~95 %, что является наибольшим значением в ряду влияния остальных параметров. Поэтому целесообразно исследовать модель с учетом влияния количества форсунок на эффективность регенерации ила, т.е. уравнение (3).

Среднее значение эффективности регенерации по шести независимым параметрам равно ~81 %.

$$\bar{\Theta} = (94,9 + 74,45 + 73,62 + 73,17 + 74,9 + 93,54) / 6 = 80,8 \text{ \%}.$$

Математическая модель поверхности, полученная по методике, представленной выше, имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \Theta = & (69,71516) + (-81,78057V + 0,9705k + 0,308J_f + 0,096917J_g + \\ & + 0,021147\tau + 0,0047J_a) + (473,50435V^2 - 0,06673k^2 - 0,00248333J_f^2 - (16) \\ & - 0,00188333J_g^2 - 0,00012333\tau^2 + 0,00045333J_a^2). \end{aligned}$$

При подстановке оптимальных параметров из табл. 1 в уравнение (16) получаем эффективность $\Theta = 83,22 \text{ \%}$, что на 4,22 % больше эффективности, вычисленной по модели из пяти независимых параметров (15).

Модель (16) наиболее полно отражает влияние всех параметров на эффективность регенерации ершовой загрузки. В табл. 3 представлена исходная матрица значений эффективности, рассчитанных по уравнению (16), а геометрический образ поверхности эффективности дан на рис. 3.

Таким образом, использование полученной математической многофакторной модели позволяет подобрать технологические параметры для

Таблица 3. Исходные данные для построения поверхности эффективности

Ряды	Входные параметры					
	$V, \text{ м}^3$	$k, \text{ шт.}$	$J_f, \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	$J_g, \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	$\tau, \text{ с}$	$J_a, \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{ч})$
	Эффективность, %					
1	79,71508	78,80345	79,98065	80,17656	80,80636	82,33613
2	80,71348	79,57376	80,60863	80,45635	81,04032	82,33613
3	81,78088	80,714	80,86142	81,00078	81,21878	82,33147
4	82,24397	81,3204	80,97059	81,0827	81,34174	82,32181
5	82,24397	81,3204	81,04872	81,22048	81,42117	82,31227

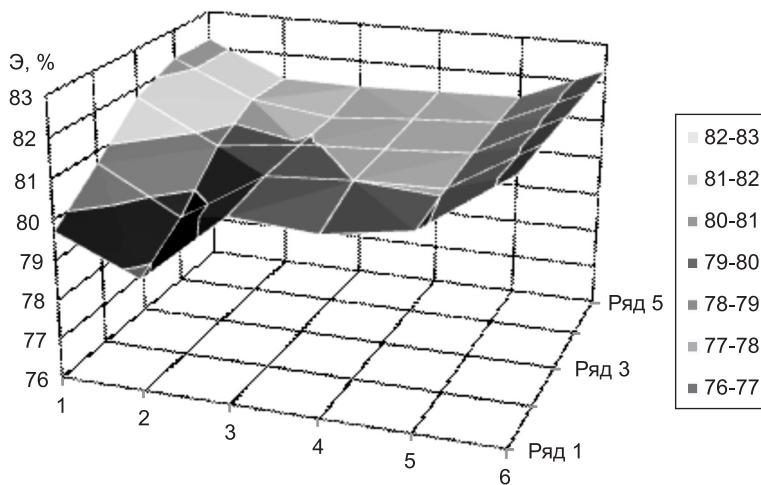


Рис. 3. Геометрическая интерпретация модели по шести независимым параметрам

водовоздушной регенерации иммобилизованного ила и биологической очистки сточных вод в аэротенке-биореакторе при заданной, достаточно высокой эффективности регенерации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Жмур, Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками [Текст] / Н.С. Жмур. — М. : АКВАРОС, 2003. — 512 с.
- Куликов, Н.И. Теоретические основы очистки воды [Текст] / Н.И. Куликов, А.Я. Райманов, Н.П. Омельченко, В.Н. Чернышов. — Макеевка : НОУЛИДЖ, 2009. — 298 с.
- Кульков, В.Н. Влияние газовой составляющей на эффективность водовоздушной регенерации ершовой загрузки в биореакторе [Текст] / В.Н. Кульков, Е.Ю. Солопанов, А.М. Зеленин // Вестник ИрГТУ. — Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2012. — № 11. — С. 112–118.
- Вертинская, Н.Д. Многомерное математическое моделирование многофакторных и многопараметрических процессов в многокомпонентных системах [Текст] / Н.Д. Вертинская. — Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2001. — 289 с.

КУЛЬКОВ Виктор Николаевич, д-р техн. наук, проф.; E-mail: kulkof.viktor@yandex.ru
Иркутский государственный технический университет
СОЛОПАНОВ Евгений Юрьевич, канд. техн. наук, доц.; E-mail: evgursolo@mail.ru
Иркутский государственный технический университет

*КУДРЯВЦЕВА Елена Владимировна, канд. хим. наук, доц.; E-mail: kudriaev@list.ru
Иркутский государственный технический университет*

Получено 05.05.14

Kulkov Viktor Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor; E-mail: kulkof.viktor@yandex.ru, Irkutsk State Technical University, Russia

Solopanov Eugeniy Yurevich, candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: evgursolo@mail.ru, Irkutsk State Technical University, Russia

Kudryavtseva Elena Vladimirovna, candidate of chemical sciences, assistant professor; E-mail: kudriaev@list.ru, Irkutsk State Technical University, Russia

USE OF INFORMATION TECHNOLOGY OF MATHEMATICAL MODELING THE BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT

The multiparametric mathematical model of the water-air loading regeneration of immobilized sludge on brush loading have obtained by using a physical model of the aerotank-bioreactor. Determined the efficiency of the regeneration from amount of nozzles, time of regeneration, intensity of the regeneration torch, volume of the aeration tank treated by one nozzle and intensity of aeration full of small bubbles water-sludge mixture have detected by the model. Model yielded a geometric image of the surface of the efficiency of regeneration, reflecting the effect of all the above parameters.

Key words: mathematical model, aerotank-bioreactor, synthetic brush loading, water-air loading regeneration, immobilized sludge, regeneration efficiency.

REFERENCES

1. Zhmour, N.S. Technological and biochemical processes of waste water treatment on treatment plants with aerotanks [Text] / N.S. Zhmour. — M. : AKWAROS, 2003. — 512 p.
2. Kulikov, N.I. Theoretical basis of water purification [Text] / N.I. Kulikov, A.Ya. Raimanov, N.P. Omelchenko, V.N. Chernyshov. — Makeevka : NOULIDZH, 2009. — 298 p.
3. Kulkov, V.N. Gas component influence on water-air regeneration of brush loading in bioreactor [Text] / V.N. Kulkov, E.Yu. Solopanov, A.M. Zelenin // Vestnik of ISTU.— Irkutsk : Publ. ISTU, 2012. — N 11. — P. 112–118.
4. Vertinskaya, N.D. Multidimensional mathematical modeling of multivariate and multiparameter of processes in multicomponent systems [Text] / N.D. Vertinskaya. — Irkutsk : Publ. ISTU, 2001. — 289 p.

УДК 697.122.2.001.24

В.И. КОСТИН, А.В. КАРМИШКИНА

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ХОЛОДОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СИСТЕМ КЛИМАТИЗАЦИИ ТЕРМОКОНСТАНТНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Показано, что в теплый период для поддержания постоянной температуры в рабочее время требуется круглосуточное охлаждение помещения. В весенне-осенний период переход от режима охлаждения к режиму нагрева и наоборот может происходить в течение одних суток.

Ключевые слова: термоконстантные помещения, системы климатизации, холодопроизводительность, расчет.

Современные технологии предъявляют повышенные требования к состоянию микроклимата. И в некоторых случаях для получения качественной продукции необходимо поддержание постоянной температуры внутреннего воздуха t_b . Такие помещения называют термоконстантными. Выполнение этого технологического требования осложняется двумя обстоятельствами:

1. Внешние, а нередко и внутренние теплопоступления изменяются в течение суток.

2. На тепловой режим помещения влияет аккумуляция тепловой энергии ограждающими конструкциями и оборудованием.

К сожалению, эти особенности теплового режима термоконстантных производств изучены недостаточно. Например, в книге Б.В. Баркалова и Е.Е. Карписа [1] им посвящено всего две страницы. Специфика поддержания заданной температуры при точности регулирования $\pm 0,2$ °C и больше рассмотрена В.В. Ловцовым [2]. Однако приводимые в этих расчетах рекомендации сводятся к технологии обработки воздуха.

Данная статья посвящена вопросу определения расчетной нагрузки на систему охлаждения термоконстантных помещений. Решение этой задачи возможно в рамках математической модели Ю.А. Табунщикова [3]. Разработанная на ее основе вычислительная программа Р НП АВОК 5.1-2008 «Расчет нагрузки на систему кондиционирования воздуха при нестационарных теплопоступлениях» использовалась нами для приводимого далее анализа.

При расчетах варьировались следующие факторы:

1. Расположение помещения: первый этаж с двумя наружными стенами; верхний этаж с двумя наружными стенами; угловое помещение — верхний этаж.

2. Суточное число часов работы: 8, 12, 16, 24.

3. Места расположения объекта: города — Москва, Санкт-Петербург, Нижний Новгород, Новосибирск, Хабаровск, Владивосток, Астрахань, Краснодар.

4. Варианты конструкции стен: конструктивный железобетонный слой и утеплитель; кирпичная стена толщиной 0,51 м и утеплитель.

Теплозащитная оболочка помещений рассчитывалась в соответствии с СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003». Производились две серии расчетов: для теплого и переходного периодов.

1. *Теплый период.* Здесь определялась динамика холодопроизводительности систем климатизации для июля при ясной погоде. Расчетная температура наружного воздуха принималась из условия коэффициента обеспеченности 0,98. Некоторые результаты расчета представлены в табл. 1. Во всех рассмотренных вариантах установлено, что для поддержания требуемой температуры в рабочее время необходимо круглосуточное охлаждение помещения. В табл. 2 приведена зависимость суточной степени регулирования системы охлаждения (отношение минимального значения

Таблица 1. Суточное изменение холодопроизводительности ($Q_{0i}/Q_{0\max}$) системы климатизации в июле

Вариант	Время, ч											
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
а	0,97	0,92	0,86	0,82	0,823	0,84	0,86	0,89	0,92	0,96	0,97	1
б	0,9	0,84	0,77	0,74	0,78	0,83	0,9	0,97	1	0,99	0,96	0,94
в	0,97	0,94	0,9	0,88	0,87	0,88	0,9	0,92	0,94	0,95	0,98	1
г	0,18	0,15	0,13	0,14	0,56	0,71	0,74	0,82	1	0,95	0,93	0,25

Примечание. а) Новосибирск, двухсменная работа, первый этаж; б) Новосибирск, односменная работа, первый этаж; в) Нижний Новгород, двухсменная работа, первый этаж; г) Краснодар, 12-часовая работа, угловое помещение, верхний этаж.

к максимальному) от числа часов работы. В последнем столбце этой таблицы указано отношение расчетных холодильных нагрузок Q_i при i -м числе смен к нагрузке при трехсменной работе Q_3 . Как видим, число часов работы существенно влияет как на расчетную нагрузку, так и на степень регулирования. Расчеты, приведенные в табл. 2, относятся к помещению, расположенному на первом этаже (г. Новосибирск). В угловых помещениях, находящихся на верхнем этаже, при числе рабочих часов 12 степень регулирования оказалась менее 0,3.

Это объясняется более интенсивным теплообменом с окружающей средой.

2. *Переходные условия.* Здесь целесообразно выделить два характерных случая:

— первый — параметры наружного воздуха, при которых в нерабочие часы не требуется охлаждение, а возможно, и необходим нагрев помещения;

— второй — охлаждение не требуется, и система климатизации работает в режиме нагрева.

В данной работе рассматривается первый случай. Решение поставленной задачи возможно только методом вариантных расчетов. В статье [4] в качестве первого шага предложено принимать параметры месяца, когда среднемесячная температура наружного воздуха $t_n^{\text{ср}}$ близка к 10°C . Соответственно считается, что расчетная среднесуточная температура

Таблица 2

Число часов работы	Степень регулирования	Q_i/Q_3
24	0,986	1
16	0,816	0,689
8	0,736	0,413

$t_{\text{h}}^{\text{p}} = t_{\text{h}}^{\text{cp}}$, а суточная амплитуда колебания температуры t_{h} приравнивается к среднемесячной.

Результаты расчета для ряда угловых помещений, расположенных на верхнем этаже (при 12-часовом режиме работы), приведены в табл. 3 и 4, вариант *a*. Из данных видно, что здесь переходные условия возникают в месяцы, когда t_{h}^{cp} близка к 10 °C.

Таблица 3. Время работы системы охлаждения в переходное время при ясной погоде

Город	Весна			Осень		
	Месяц	t_{h}^{cp}	Часы	Месяц	t_{h}^{cp}	Часы
Астрахань	Апрель	9,9	9–21	Октябрь	9,6	9–21
Владивосток	Май	9,9	9–24	Октябрь	9,7	9–21
Краснодар	Апрель	11,3	9–23	Октябрь	11,4	10–21
Москва	Май	11,9	9–24	Сентябрь	10,7	9–22
Новосибирск	Май	10,3	9–24	Сентябрь	10,1	9–22

Таблица 4. Суточное изменение холодопроизводительности ($Q_{0i}/Q_{0\max}$) системы климатизации весной

Вариант	Время, ч											
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
<i>a</i>	—	—	—	—	0,28	0,5	0,55	0,68	0,92	0,82	0,12	0,02
<i>б</i>	0,97	0,94	0,89	0,86	0,865	0,87	0,89	0,91	0,94	0,96	0,98	1
<i>в</i>	0,98	0,94	0,93	0,86	0,87	0,88	0,89	0,91	0,95	0,97	0,99	1

Примечание. а) Краснодар, апрель ($t_{\text{h}}^{\text{cp}} = 11,3$ °C), 12-часовая работа, угловое помещение, верхний этаж; б) Нижний Новгород, май ($t_{\text{h}}^{\text{cp}} = 11,1$ °C), двухсменная работа, первый этаж; в) Хабаровск, май ($t_{\text{h}}^{\text{cp}} = 12$ °C), двухсменная работа.

Однако для большинства рассмотренных нами случаев переходное время относится к периоду более низких температур t_{h} . Примеры расчетов для мая, когда требуется по-прежнему круглосуточное охлаждение, даны в табл. 4, вариант *б* и *в*.

Возникает вопрос, не потребуется ли в нерабочее время нагрев помещения, когда отпадет необходимость в круглосуточном охлаждении. Произведенные вычисления подтвердили это предположение. В табл. 5 приведены результаты расчета температуры t_{v} для объекта, охлаждение которого производилось в соответствии с данными табл. 3. Из табл. 5 видно, что при отсутствии нагрева в течение части дня требуемый температурный режим поддерживать нельзя.

Таблица 5. Суточное изменение температуры t_{v} при отсутствии нагрева помещения

Время, ч	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
t_{v}	15,1	15	14,9	14,8	16,5	15,9	15,7	15,6	15,5	15,4	15,3	15,2

Примечание. Москва, май, пасмурная погода, угловое помещение, верхний этаж. Требуемое значение $t_{\text{v}} = 18$ °C. Охлаждение с 9 до 22 ч.

Выводы. При проектировании систем климатизации термоконстантных производств необходимо учитывать следующее:

1. В теплый период независимо от числа рабочих смен требуется круглосуточное охлаждение помещения.
2. Переход от режима охлаждения к режиму нагрева и наоборот может происходить в течение одних суток, как в рабочие, так и в нерабочие часы.
3. Параметры наружного воздуха для переходных условий зависят от сочетания климатических, технологических и архитектурно-конструктивных факторов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баркалов, В.В. Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях [Текст] / В.В. Баркалов, Е.Е. Карпич. — М. : Стройиздат, 1982. — 312 с.
2. Ловцов, В.В. Системы прецизионного кондиционирования воздуха [Текст] / В.В. Ловцов. — Л. : Стройиздат, 1971. — 86 с.
3. Табунщикова, Ю.А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий [Текст] / Ю.А. Табунщикова, М.М. Бродач. — М. : АВОК-ПРЕСС, 2002. — 193 с.
4. Костин, В.И. Выбор параметров наружного воздуха для переходных условий при работе систем климатизации [Текст] / В.И. Костин // Изв. вузов. Строительство. — 2014. — № 2. — С. 57–60.

КОСТИН Владимир Иванович, д-р техн. наук, проф.

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

КАРМИШКИНА Анна Валентиновна, инж.

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

Получено 30.05.14

Kostin Vladimir Ivanovich, doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Karmishkina Anna Valentinovna, engineer, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

FEATURES OF CALCULATION OF COOLING CAPACITY OF CONTROL SYSTEMS OF A MICROCLIMATE OF A PREMISES WITH THE CONSTANT TEMPERATURE OF INTERNAL AIR

It is shown that during the warm period maintenance of constant temperature in working hours requires the round-the-clock cooling of the premises. During the spring and autumn periods of the transition from cooling mode to heating mode and vice versa can occur with in one days.

Key words: premises with the constant temperature of internal air, control systems of a microclimate, cooling capacity, calculate.

REFERENCES

1. Barkalov, V.V. The air conditioning in industrial, public and residential buildings [Text] / V.V. Barkalov, E.E. Karpis. — M. : Stroyizdat, 1982. — 312 p.
 2. Lovtsov, V.V. Systems of precision air-conditioning [Text] / V.V. Lovtsov. — L. : Stroyizdat, 1971. — 86 p.
 3. Tabunschikov, Yu.A. Mathematical modeling and optimization of thermal efficiency of buildings [Text] / Yu.A. Tabunschikov, M.M. Brodach. — M. : AVOK-PRESS, 2002. — 193 p.
 4. Kostin, V.I. Selection of parameters of external air for transitional conditions at calculation of climatic systems [Text] / V.I. Kostin // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2014. — N 2. — P. 57–60.
-

УДК 697.4:621.577

Ю.С. СЕРЕГИНА, Т.В. ЩУКИНА

К ВОПРОСУ ВЫБОРА ТЕПЛООБМЕННИКА ДЛЯ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ИСПАРЕНИЯ

Рассматривается возможность применения теплонасосных установок в условиях РФ. Наиболее перспективно использование комбинированных схем, включающих три фреоновых контура. Результатами расчетов доказано, что U-образный грунтовый теплообменник является более эффективным устройством для решения задач утилизации геотермальной теплоты в средней полосе России.

Ключевые слова: геотермальная энергия, тепловые насосы.

Обширный западноевропейский опыт практического внедрения возобновляемых источников показывает перспективность применения комбинированных геотермальных установок, которые могут полностью или частично удовлетворить энергетические потребности горячего водоснабжения, отопления и вентиляции. Для успешного его продвижения в условиях РФ необходимо предварительно оценить возможности энергетического воспроизведения при различном типе применяемого оборудования.

Эффективность работы многофункциональной геотермальной теплонасосной установки во многом зависит от выходных параметров теплоносителя из грунтового теплообменника, который может иметь различные схемы исполнения грунтовых зондов и их комбинации. При выборе формы зонда стремятся максимально повысить производительность при минимальных затратах на земляные работы, поэтому используют более компактные и относительно несложные в монтажном плане системы.

Среди элементарных единиц геотермальной комбинаторики наибольшее распространение получили грунтовые теплообменники из одинарных, выполненных по форме U-образными, и коаксиальных труб [1]. Первые из них составляют основу большинства действующих систем, масштабы которых варьируются от обеспечения микроклимата частных коттеджей до поселковых геоТЭЦ. Второй тип труб теплообменников стал широко применяться в последнее десятилетие, в частности в Исландии, Германии, Франции, при этом были достигнуты определенные успехи, выражющиеся в отдельных случаях в повышении КПД системы до 10–40 %.

Следует отметить, что теплонасосные установки стран Европы преимущественно развивались по направлению рассольно-фреоновых систем, теоретическая эффективность которых неоспорима. Однако более суровый климат РФ часто не позволяет их применять из-за необоснованно значительных капиталовложений. Это актуализирует развитие не-

сколько иного, преимущественно американского, способа организации геотермальных теплообменников с непосредственным кипением рабочего хладагента. В отличие от рассольно-фреоновых систем, где основной задачей является получение максимально высокой температуры теплоносителя на выходе из геотермального контура, в теплообменниках непосредственного испарения получают сухой, а в идеале и перегретый пар с максимальным давлением. И в этих случаях приоритетность коаксиального теплообменника над одиночным спорная.

Одна из наиболее перспективных схем организации работы комбинированной теплонасосной установки, приведенная на рис. 1, включает три фреоновых контура:

И контур теплонасосной установки служит для первичного подогрева воды за счет осуществления парокомпрессионного цикла фреона, включающего кипение последнего в геотермальном контуре 1 с последующим сжатием в компрессоре 8, фазовым переходом в конденсаторе 9 и дросселированием в клапане 13.

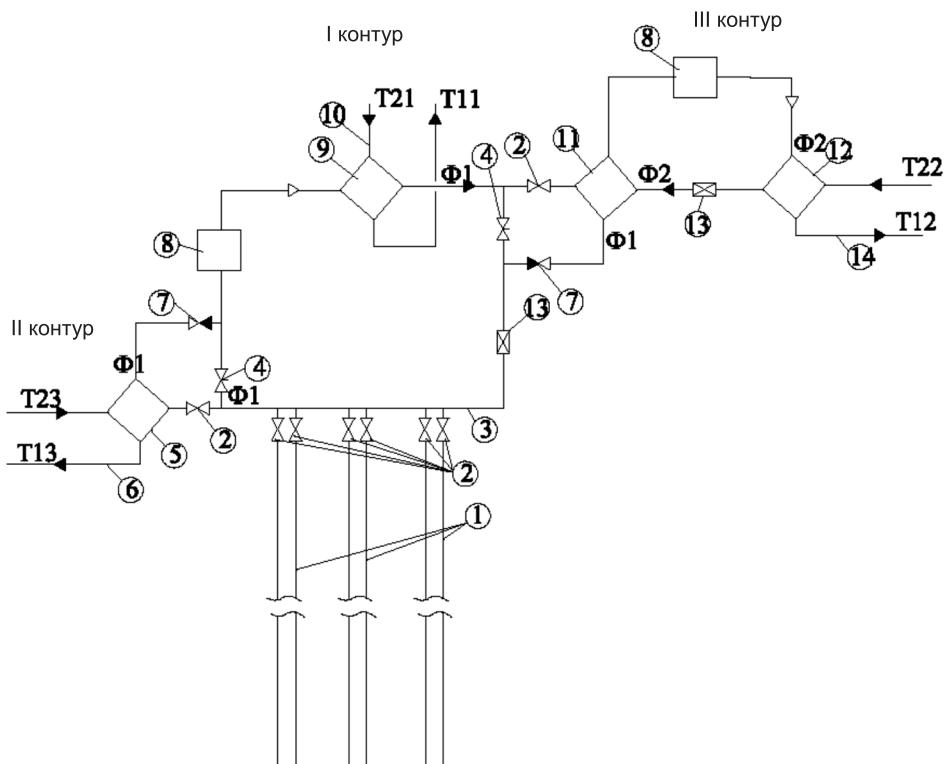


Рис. 1. Принципиальная схема комбинированной геотермальной теплонасосной установки с теплообменником непосредственного испарения

1 — геотермальный теплообменник непосредственного испарения; *2* — запорная арматура; *3* — геотермальный коллектор; *4* — регулирующий клапан; *5* — первичный подогреватель (охладитель II контура); *6* — контур охлаждения воды для холодоснабжения; *7* — обратный клапан; *8* — компрессор; *9* — конденсатор фреона; *10* — контур первичного подогрева воды; *11* — теплоутилизатор (испаритель III контура); *12* — конденсатор III контура (вторичный подогреватель воды); *13* — дроссельный клапан; *14* — контур вторичного подогрева воды; Ф1 — фреон I контура; Ф2 — фреон III контура; Т21/Т11 — параметры воды первичного подогрева; Т22/Т12 — параметры воды вторичного подогрева; Т23/Т13 — параметры охлаждаемой воды

II контур применяется для подготовки воды необходимых параметров с целью холодоснабжения фанкойлов или приточных камер. Ее охлаждение происходит в первичном подогревателе 5 за счет теплообмена с парами фреона, имеющими низкую отрицательную температуру на выходе из грунтового теплообменника.

III контур служит для подогрева воды, циркулирующей в системе отопления, и поэтому он содержит дополнительную парокомпрессионную установку. После конденсатора 9 фреон I контура обладает температурой порядка 20 °C, теряемой при дросселировании. Введение II контура позволит при минимальных затратах на электроэнергию утилизировать имеющуюся теплоту за счет испарения фреона и последующей его конденсации, при которой происходит нагрев воды до температуры 70–85 °C, приемлемой для водяного отопления.

Приведенная схема теплового насоса (см. рис. 1) обладает рядом преимуществ:

— Полифункциональность. Данная комбинаторика может эксплуатироваться в различных режимах: отопление; горячее водоснабжение и отопление; теплоснабжение и холодоснабжение.

— Регулируемость. В зависимости от потребности в энергии, производительность установки можно изменять за счет частичного задействования геотермальных теплообменников.

— Экономичность при работе в бинарных режимах. Дополнительным бонусом использования геотермального теплового насоса становится отсутствие затрат на кондиционирование помещений. Более того, при включении кольца холодоснабжения в общую схему теплового насоса парообразный фреон перед компрессором переходит в перегретое состояние, что позволяет сократить затраты на сжатие в компрессоре, а значит и снизить эксплуатационные расходы. При включении отопительного контура аналогичный эффект будет иметь место во вторичном фреоновом контуре.

Безусловно, каждая теплонасосная установка применительно к конкретному объекту требует тщательного технико-экономического расчета, обосновывающего целесообразность ее использования. Но учитывая легкость регулирования режимов работы рассмотренной геотермальной установки, ее полифункциональность и подогрев воды основным циркуляционным контуром до температуры 50 °C, можно с уверенностью говорить об эффективности применения данной схемы в коттеджном строительстве, в особенности, при наличии бассейна.

С целью выявления тенденций кипения фреона в геотермальных теплообменниках различного типа проведем для коаксиального тупикового и стандартного U-образного зондов аналитический анализ изменения основных параметров рабочей среды: степени сухости и давления.

Для этого воспользуемся следующей зависимостью изменения давления [2] при перемещении теплоносителя

$$P = P_s + dP_g + dP, \quad (1)$$

где P_s — технологическое давление, т. е. давление, необходимое для протекания рассматриваемого процесса, Па;

dP_g — изменение гравитационного давления, Па;

dP — потери давления на трение в системе, Па.

Потери давления на трение при перемещении теплоносителя в соответствии с [3] определяются выражением

$$dP = \lambda_1 \frac{l}{d} \frac{V^2}{2g}, \quad (2)$$

где λ_1 — коэффициент потерь на трение по длине, зависящий от режима течения, рассчитанный в соответствии с [2];

l — длина участка перемещения среды до рассматриваемого сечения, м;

d — диаметр канала, м;

V — скорость среды, м/с.

Изменение гравитационного давления в зондах происходит по зависимости [4]

$$dP_g = ghdp, \quad (3)$$

где h — изменение высоты при перемещении теплоносителя;

g — ускорение свободного падения, м/с²;

dp — изменение плотности теплоносителя при перемещении, кг/м³.

Степень сухости пароводяной смеси является характеристикой ее состояния и зависит от внутренней энергии при заданном давлении. В свою очередь внутренняя энергия находится в прямой взаимосвязи с тепловым потоком и определяется из первого закона сохранения энергии

$$dE = dQ + dA, \quad (4)$$

где dQ — количество подводимой энергии, Вт;

dA — работа системы против внешних сил, Вт.

Тепловой поток от грунта к теплоносителю применительно к инженерной теплотехнической практике довольно точно рассчитывается посредством уравнения вида [4]

$$dQ = K(T_g - T_p)dx, \quad (5)$$

где T_g — текущая температура грунта, К;

T_p — текущая температура раствора, К;

K — коэффициент теплопередачи, Вт/(м² · К).

Коэффициент теплопередачи при тепловом потоке через разделяющую стенку от одной среды к другой принято определять по выражению [4]

$$K = \frac{1}{\frac{\lambda_g}{d_2 H} + \sum \frac{\delta_k}{\lambda_k} + \frac{1}{\alpha}}, \quad (6)$$

где d_2 — внешний диаметр трубопровода, м;

H — расстояние от поверхности трубы до слоя грунта, в котором градиент температуры стремится к нулю, м;

λ_g — коэффициент теплопроводности грунта, Вт/(м · К);

α_k — толщина слоя, м;

λ_k — коэффициент теплопроводности слоя, Вт/(м · К);

α — коэффициент теплоотдачи конвекцией, Вт/(м² · К).

Коэффициент тепловосприятия конвекцией при кипении теплоносителя в трубах в условиях вынужденного движения определяется его физическими свойствами по зависимости [4]

$$\alpha = b^3 \frac{\lambda^2 (T_c - T_{\text{кип}})^2 \rho}{\mu \sigma T_{\text{кип}}}, \quad (7)$$

где λ — коэффициент теплопроводности теплоносителя, Вт/(м · К);

T_c — температура стенки трубы, К;

$T_{\text{кип}}$ — температура кипения теплоносителя, К;

ρ — плотность теплоносителя, кг/м³;

μ — коэффициент динамической вязкости, Па · с;

σ — коэффициент поверхностного натяжения, н/м;

b — безразмерная функция, рассчитанная в соответствии с [1].

Для потока движущейся жидкости (газа) работа среды против внешних сил в общем случае при перемещении из положения 1 в положение 2 имеет вид [3]

$$dA = G \left(\frac{p_2}{\rho_2} - \frac{p_1}{\rho_1} \right) + G \left(\frac{V_2^2}{2} - \frac{V_1^2}{2} \right) + Gg(h_2 - h_1) + A_{\text{тех}} + A_{\text{тр}}, \quad (8)$$

где G — массовый расход перемещаемой среды, кг/с;

p_1, p_2 — давления в потоке для положений 1 и 2 соответственно, Па;

ρ_1, ρ_2 — плотность перемещаемой среды для положений 1 и 2, кг/м³;

V_1, V_2 — скорость перемещаемой среды для положений 1 и 2 соответственно, м/с;

h_1, h_2 — относительная высота расположения потока среды для положений 1 и 2, м;

$A_{\text{тех}}$ — техническая работа, совершаемая рабочей средой, Дж;

$A_{\text{тр}}$ — работа потока на преодоление силы трения, Дж [3].

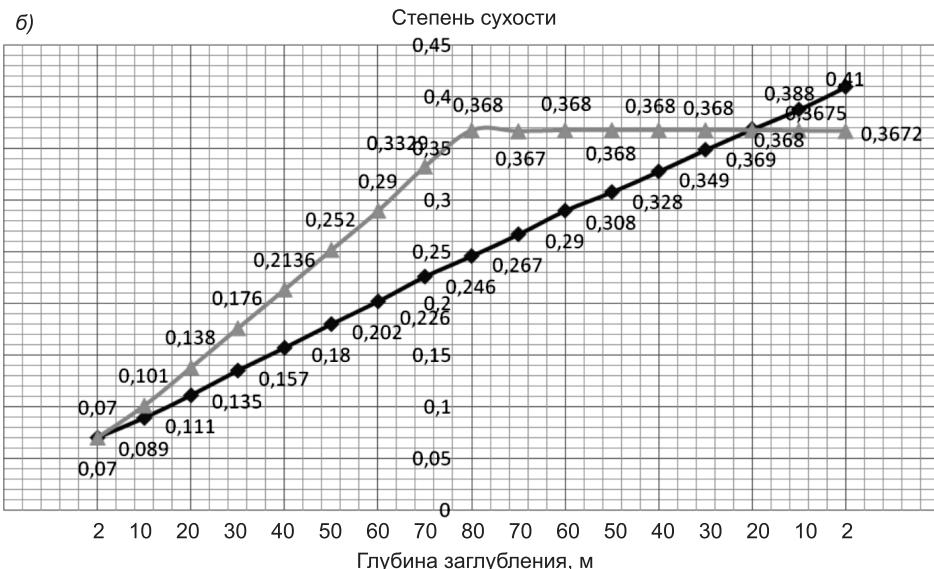
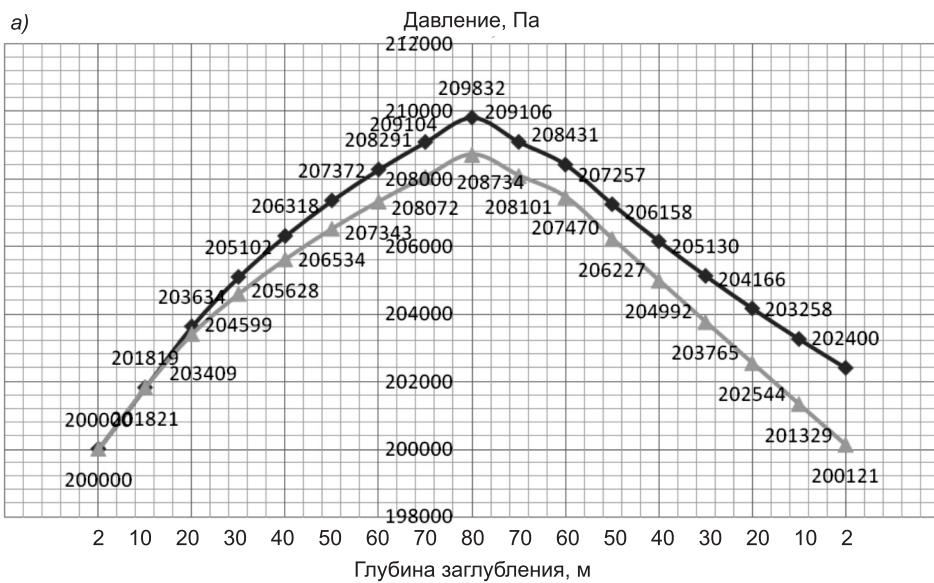
Проследить процесс испарения теплоносителя возможно путем исследования изменения его внутренней энергии при использовании выражения (4) и предварительном определении количества подводимой энергии, а также работы системы против внешних сил по зависимостям (5) и (8).

Для анализа эффективности вышеобозначенных зондов помещаем их в равные расчетные условия с точки зрения окружающей среды, температурного поля, площадей сечения и используем для каждого конструктивного исполнения геотермального теплообменника один контур, заглубляемый на 80 м. Для параметров грунта выбраны почвенные условия г. Воронежа. В качестве теплоносителя используем аммиак с начальными параметрами: рекомендуемое технологическое давление 0,2 МПа, начальная температура $-18,8$ °С; расход 0,15 кг/с. Трубы для U-образного теплообменника приняты стальными усиленными диаметром 40×4 мм, для коаксиального — стальная усиленная наружная труба диаметром 80×4,5 мм и полипропиленовая внутренняя диаметром 63×10,5 мм. При

анализе вводится допущение отсутствия теплового потока через внутреннюю трубу коаксиального теплообменника.

При рассчитанных в соответствии с начальными условиями значениях давления и внутренней энергии изменения термодинамических показателей фреонов принимались по программе «АММИАК 07». Динамика изменения основных параметров пароводяных потоков хладагента приведена на диаграммах (рис. 2).

Из диаграмм видно, что эффективность использования тупикового коаксиального зонда в теплонасосной установке с непосредственным кипением хладагента уступает U-образному теплообменнику из стандартных труб. Особенно ярко это проявляется в выходных значениях степени сухости пароводяных систем, где эффективность достигает 11 %. Несмотря на то, что площади соприкосновения труб с грунтом в двух вари-



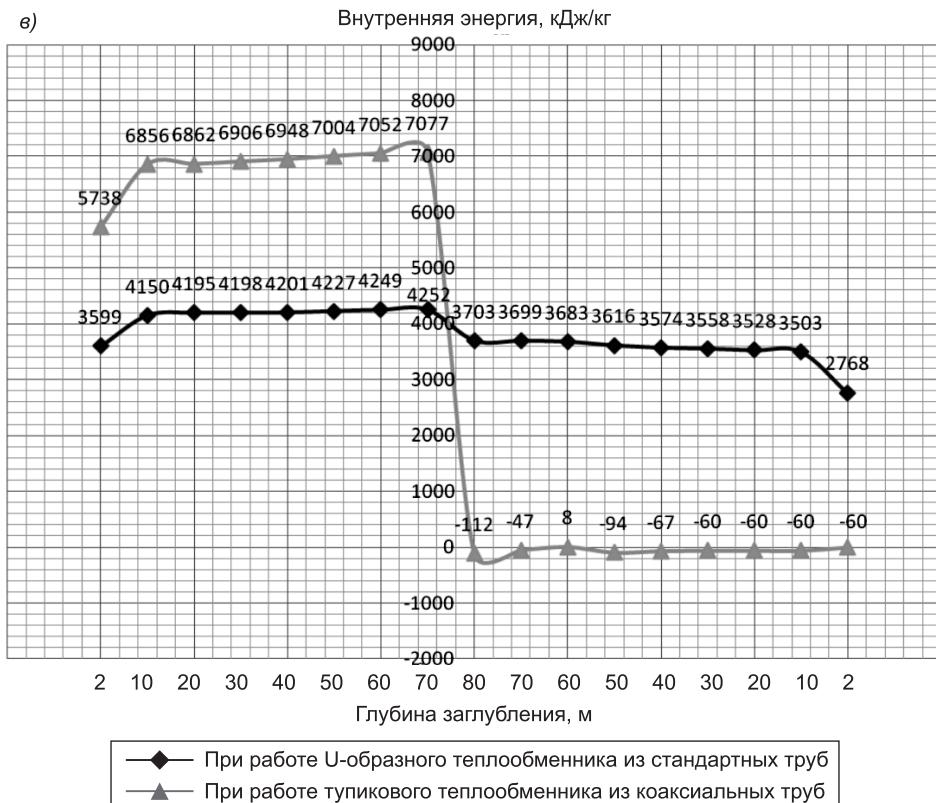


Рис. 2. Динамика изменения давления (а), степени сухости (б) и внутренней энергии (в) в теплообменниках различного типа

антах равны, тепловоспринимающая способность хладагента и затраты энергии потока на совершение работы против внешних сил снижают эффективность тупикового коаксиального теплообменника.

Полученные теплотехнические показатели рассмотренных процессов в совокупности с экономической сочетающей, которая по статистическим данным в случае с U-образным теплообменником ниже, позволяют признать приоритетность использования данного типа теплообменника для геотермальных установок с непосредственным кипением жидкости в условиях средней полосы России.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васильева, Г.П. Использование низкопотенциальной тепловой энергии земли в теплонасосных системах [Текст] / Г.П. Васильева, Н.В. Шилкин // АВОК. — 2003. — № 2. — С. 52–60.
2. Rodorf, Ju. Thermosiphon loops for heat extraction from the ground [Text] / Ju. Rodorf. — Sweden: Stockholm, 2008. — 65 р.
3. Кирилиллин, В.А. Техническая термодинамика [Текст] / В.А. Кирилиллин, В.В. Сычев, А.Е. Шейндин. — М. : Изд-во МЭИ, 2008. — 491 с.
4. Слепокуров, А.С. Тепловые насосы. Информ.-метод. пособие [Текст] / А.С. Слепокуров, А.Л. Костенев. — Симферополь, 2010. — 57 с.

СЕРЕГИНА Юлия Сергеевна, студ.; E-mail: seregina_uliay@mail.ru
Воронежский государственный архитектурно-строительный университет (Воронежский ГАСУ)

*ЩУКИНА Татьяна Васильевна, канд. техн. наук, доц.; E-mail: schukina.niki@yandex.ru
Воронежский государственный архитектурно-строительный университет
(Воронежский ГАСУ)*

Получено 26.05.14

Seryogina Yulia Sergeevna, student; E-mail: seregina_uliay@mail.ru, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering (Voronezh GASU), Russia

Shchukina Tatyana Vasilievna, candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: schukina.niki@yandex.ru, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering (Voronezh GASU), Russia

TO THE QUESTION OF THE CHOICE OF THE HEAT EXCHANGER FOR GEOTHERMAL THERMAL PUMPS OF DIRECT EVAPORATION

Possibility of application of heatpump installations in the conditions of the Russian Federation is considered. The most perspective is use of the combined schemes including three freon contours. By results of calculations it is proved that the U-shaped soil heat exchanger is more effective device for the solution of problems of utilization of geothermal warmth in a midland of Russia.

Key words: geothermal energy, thermal pumps.

REFERENCES

1. Vasilyeva, G.P. Use of low-potential thermal energy of the earth in warm and pump systems [Text] / G.P. Vasilyeva, N.V. Shilkin // AVOK. — 2003. — N 2. — P. 52–60.
2. Rodorf, Ju. Thermosiphon Loops for Heat Extraction from the Ground [Text] / Ju. Rodorf. — Sweden: Stockholm, 2008. — 65 p.
3. Kirilillin, V.A. Technical thermodynamics [Text] / V.A. Kirilillin, V.V. Sychev, A.E. Sheyndlin. — M. : MPI publishing house, 2008. — 491 p.
4. Slepokurov, A.S. Thermal pumps. Information and methodical grant [Text] / A.S. Slepokurov, A.L. Kostenev. — Simferopol, 2010. — 57 p.

СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И МОСТОВ

УДК 625.7

А.А. ДУБЕНКОВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ПРОЕКТАХ ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА НА МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ

Разработан комплекс математических моделей круглогодичного строительства земляного полотна автомобильных дорог на многолетнемерзлых основаниях поточно-участковым методом. В основу деления трассы на участки (проектно-технологические модули) положены принципы линейно-дорожного районирования с учетом природно-климатических и геокриологических факторов. Параметры потоков моделируются для различных конструктивных решений земляного полотна, организационно-технологических ограничений на ресурсные и фронтальные связи между процессами, учитывают условия производства основных и подготовительных работ.

Ключевые слова: проектно-технологические модули, ресурсные и фронтальные связи, геокриология, управление проектами, календарный график.

Обеспечение устойчивости, надежности и экономичности дорожных конструкций на многолетнемерзлых основаниях связано с необходимостью оценки взаимовлияния природных территориальных комплексов и инженерных решений в процессе проектирования, строительства и эксплуатации дороги. Реализация этой сложной, многоэтапной задачи возможна только на основе системного подхода, использования принципов моделирования и современных компьютерных технологий.

Основные организационные мероприятия и конструктивно-технологические решения на всем протяжении трассы в условиях криолитозоны принимаются с помощью специального комплекса инженерных изысканий, целью которых является получение и обработка информации о природных условиях строительства.

Самое большое влияние природные факторы в условиях криолитозоны оказывают на способы сооружения земляного полотна. Дорожное земляное полотно — линейное сооружение большой протяженности, поэтому при проектировании необходимо учитывать не только различие конструктивных решений по длине дороги, связанных с высотными отметками (насыпи, выемки), но и разнообразие природно-климатических, геоморфологических и гидрогеологических условий, а при строительстве на многолетнемерзлых грунтах — особенности мерзлотных условий.

Линейное дорожное районирование трассы дороги в сложных геокриологических условиях, выполненное на основе анализа природ-

но-климатических и инженерно-геологических характеристик, позволяет группировать по длине дороги участки с относительно однородными условиями природной среды. В работе [1] эти участки обозначены как линейные дорожные комплексы по аналогии с природно-территориальными комплексами, принятymi в теории инженерного районирования. Реализация разработанной методики линейного дорожного районирования [1] на предпроектной стадии позволяет в дальнейшем формировать проектно-технологические модули (ПТМ), т.е. рассредоточенные по длине трассы участки дороги с однотипными конструкциями земляного полотна.

Для моделирования производства работ в сложных условиях наиболее приемлемой с научной и практической точки зрения можно считать методологию управления проектами. Наиболее проработанные в настоящее время модели формируют стандартный подход к управлению жизненным циклом проекта. Они имеют лучшее программное обеспечение, в том числе, например, «Project Professional 2010». Кроме планирования программное обеспечение позволяет решать многие задачи управления ресурсами и сроками: корректировать графики при отклонении от плана, выравнивать потребности ресурсов, учитывать риски при выполнении проекта, вести бюджетирование проекта. Однако при расчетах в приведенных моделях не учитываются особенности календарного планирования линейного транспортного строительства и ряд организационно-технологических факторов.

Приведенный в работе [2] порядок моделирования сетевых графиков в природно-технологических системах учитывает ряд особенностей, связанных со строительством земляного полотна на многолетнемерзлых грунтах (ММГ), но не решает вопросы расчета некоторых параметров самих графиков. Сетевые модели не в полной мере приспособлены к решению задач календарного планирования в линейном транспортном строительстве, так как в качестве основной характеристики работ принята их продолжительность. В то же время для определения сроков производства работ на ПТМ, оценки величины фронтальных связей между процессами необходимы дополнительные расчеты с использованием специальных организационно-технологических моделей.

С позиций проектного управления моделирование строительства земляного полотна на ММГ включает следующие процедуры:

— уточнение ограничений по времени, ресурсам и способам их потребления исходя из конструктивно-технологических особенностей объекта (конструктивных слоев земляного полотна);

— определение последовательности и сроков выполнения технологических процессов, их взаимосвязей с помощью организационно-технологических моделей;

— расчет и оптимизация графиков выполнения работ по временным, ресурсным и стоимостным критериям;

— оперативная корректировка графиков.

В работе [3] дано обоснование перехода от моделей «временного типа», в которых рассматривается степень совмещения работ во времени, к моделям «объемного типа», где увязка работ осуществляется по степени совмещения по фронту работ, применительно к строительству линейно-протяженных объектов.

Из известных имитационных моделей наиболее соответствует требованиям линейного транспортного строительства в сложных условиях ор-

ганизационно-технологическая модель, представленная в работе [3], так как в ней учитываются следующие факторы:

- неравномерность распределения объемов работ по длине дороги;
- разные конструктивные решения элементов земляного полотна на отдельных участках, связанные с изменением природных геокомплексов;
- изменение сменной производительности отрядов по длине дороги под действием технологических и организационных факторов;
- воздействие климатических факторов на производительность отряда, изменяющее ее от максимально возможной до полного прекращения работ;
- сезонность работ, предъявляющая определенные технологические требования к работе специализированных отрядов в зимнее время;
- степень готовности слоев земляного полотна для выполнения следующих технологических операций.

Нами выполнена модернизация модели с расширением функций для расчета графиков при параллельно-поточной организации работ, предлагающей декомпозицию линейно-протяженного объекта на ПТМ. При этом возможно задание разных сроков работы специализированным отрядам на ПТМ с учетом наиболее благоприятных условий для производства работ по определенной технологии. На рис. 1 отображена общая схема организации работ по строительству земляного полотна параллельно-поточным методом двумя отрядами, работающими на участках двух ПТМ.

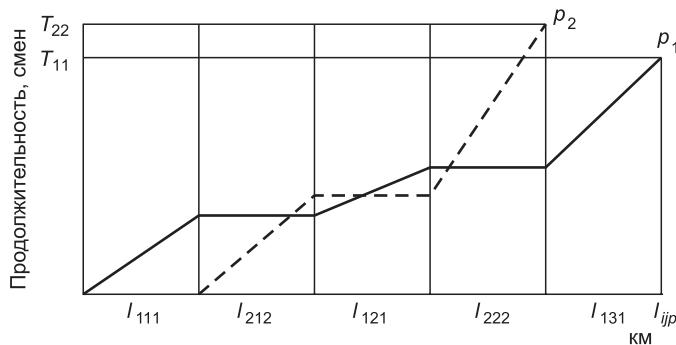


Рис. 1. Схемы организации работ по строительству земляного полотна

I_{ijp} — протяженность j -го участка на i -м ПТМ при выполнении работ p -м специализированным отрядом, км; T_{ip} — продолжительность выполнения работ по i -му ПТМ p -м отрядом, смены

Земляное полотно на ММГ представляет собой сложное многослойное сооружение, состоящее из нескольких конструктивных слоев, иногда разделенных прослойками из материалов с разной теплопроводностью, для обеспечения тепловой устойчивости многолетнемерзлого основания. Эти слои могут сооружаться в разные сезоны года (зимний или летний), различными технологическими способами, возможно с организационно-технологическими перерывами, одним или разными специализированными отрядами. В общем случае с учетом вышесказанных обстоятельств продолжительность возведения конструкции m -го типа на j -м участке i -го ПТМ T_{ijm} рассчитывается по формулам:

$$T_{ijm} = \sum_{s=1}^S \tau_{ijms}; \quad (1)$$

$$\tau_{ijms} = Q_{ijms} / \Pi_{pijsn}; \quad (2)$$

$$\Pi_{pijsn} = f(\theta_{mkns}, \alpha), \quad (3)$$

где Π_{pijsn} — сменная производительность p -го механизированного отряда на j -м участке i -го ПТМ при выполнении s -го технологического процесса в n -м мес, ед.изм./смена;

Q_{ijms} — объем работ s -го технологического процесса для конструкции m -го типа на j -м участке i -го ПТМ, ед. изм.;

θ_{mkns} — свойства k -го материала (грунта) для m -й конструкции в n -м мес; α — коэффициент, учитывающий сезонность работ.

На рис. 2 приведен алгоритм расчета параметров специализированных отрядов на ПТМ. Организационно-технологические параметры строительства, рассчитанные с использованием модернизированной модели «РОТОК+» [3], целесообразно перенести в программу управления проектами (например, Project Professional 2010). Данные программы предоставляют более широкие возможности для автоматизированного расчета сетевого графика, выявления критического пути и координации ресурсов в ходе оперативного управления.

Комплекс работ по сооружению земляного полотна может быть выполнен с разным характером использования ресурсов и освоения частных фронтов работ (по участкам ПТМ), с технологическими и организационными ограничениями на связи между работами, и соответственно, с раз-

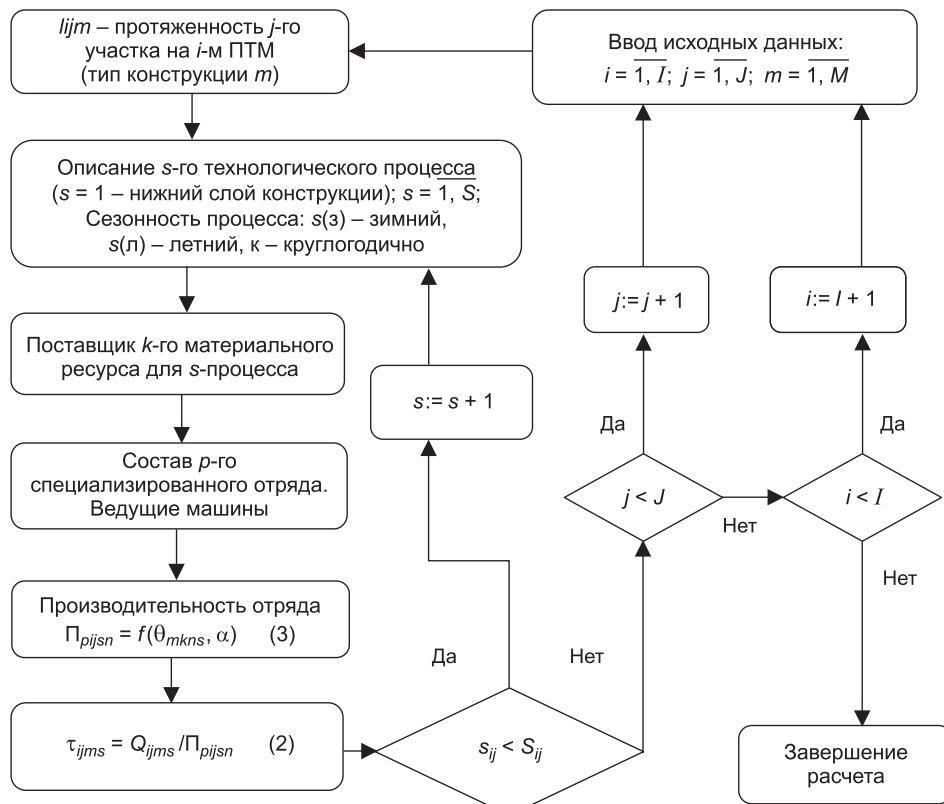


Рис. 2. Алгоритм расчета параметров специализированных отрядов на ПТМ

ными технико-экономическими показателями. Прогнозирование эффективности вариантов организационно-технологических решений с учетом жизненного цикла объекта осуществляют по методике, представленной в работе [4].

Выполнение комплекса подготовительных работ в северных условиях играет важную роль и должно быть учтено в графиках по срокам выполнения работ, предшествующих основным строительным работам. В комплекс подготовительных работ включаются: очистка дорожной полосы от леса и кустарника; строительство автозимников, подготовка землевозных дорог; устройство водоотводных канав и труб; снятие растительного слоя при подготовке карьеров к разработке в зимних условиях буровзрывным методом; заготовка в бурты глинистого грунта для упорных призм; устройство мерзлотных валиков для водоотвода; заготовка торфа и торфопесчаной смеси; просушивание в валах; передислокация мобильных парков машин. Перечень подготовительных работ уточняется в конкретном проекте с детальным расчетом объемов и сроков работ.

В разработанной математической модели условия взаимодействия работ по временными параметрам для расчета сетевого графика формализованы и представлены в виде следующих зависимостей:

1. Сроки возможного начала работы t_{ijs}^{HB} , начала работы t_{ijs}^{H} и окончания работы t_{ijs}^{o} на j -м участке i -го ПТМ при выполнении s -го технологического процесса рассчитывают по формулам:

$$\begin{aligned} t_{ijs}^{\text{HB}} &= \max \begin{cases} t_{i(j-1)s}^{\text{o}} + t_{\text{пер}} \\ t_{ij(s-1)}^{\text{o}} + t_{\text{тех}} ; \\ t_{i(j-1)s}^{\text{o}} + t_{\text{опр}} \end{cases} \\ t_{ijs}^{\text{H}} &= t_{ijs}^{\text{o}} - \tau_{ijs}; \\ t_{ijs}^{\text{o}} &= t_{ijs}^{\text{H}} + \tau_{ijs}, \end{aligned} \quad (4)$$

где $t_{\text{пер}}$, $t_{\text{тех}}$, $t_{\text{опр}}$ — соответственно время передислокации, технологических и организационных перерывов, сут;

τ_{ijs} — время выполнения s -го технологического процесса на j -м участке i -го ПТМ, смены.

2. Условия выполнения технологических процессов в определенные сезоны года ((лс) — летний, (зс) — зимний, (к) — круглогодично):

$$\begin{aligned} t_{ijs}^{\text{H}}(\text{лс}) &\geq t_{\text{лс}}^{\text{H}}; \quad t_{ijs}^{\text{o}}(\text{лс}) \leq t_{\text{лс}}^{\text{o}}; \\ t_{ijs}^{\text{H}}(\text{зс}) &\geq t_{\text{зс}}^{\text{H}}; \quad t_{ijs}^{\text{o}}(\text{зс}) \leq t_{\text{зс}}^{\text{o}}, \end{aligned} \quad (5)$$

где $t_{\text{лс}}^{\text{H}}$, $t_{\text{лс}}^{\text{o}}$ — соответственно даты начала и окончания летнего строительного сезона;

$t_{\text{зс}}^{\text{H}}$, $t_{\text{зс}}^{\text{o}}$ — соответственно даты начала и окончания зимнего строительного сезона.

3. Условия предшествования подготовительным работам (пп — подъездные пути, мпм — мобильные парки машин, вс — водоотводные сооружения, пк — подготовка карьеров):

$$\begin{aligned} t_{\text{пп}}^{\text{o}} &\leq t_{ijs}^{\text{H}}; \quad t_{\text{вс}}^{\text{o}} \leq t_{ijs}^{\text{H}}; \\ t_{\text{мпм}}^{\text{o}} &\leq t_{ijs}^{\text{H}}; \quad t_{\text{пк}}^{\text{o}} \leq t_{ijs}^{\text{H}} \quad \text{при } j=1, s=1. \end{aligned} \quad (6)$$

4. Выполнение заданных сроков по комплексу работ:

$$\begin{aligned} \sum_i \sum_j \sum_s \tau_{ijs} (\text{зс}) + t_{\text{пер}} + t_{\text{тех}} &\leq T_{\text{зим}}^{\text{расч}}; \\ \sum_i \sum_j \sum_s \tau_{ijs} (\text{лс}) + t_{\text{пер}} + t_{\text{тех}} &\leq T_{\text{лет}}^{\text{расч}}; \\ \sum_i \sum_j \sum_s \tau_{ijs} (\text{к}) + t_{\text{пер}} + t_{\text{тех}} &\leq T_{\text{зим}}^{\text{расч}}, \end{aligned} \quad (7)$$

где $T_{\text{зим}}^{\text{расч}}$, $T_{\text{лет}}^{\text{расч}}$, $T_{\text{зим}}^{\text{расч}}$ — соответственно продолжительности зимнего, летнего сезонов, заданной продолжительности строительства, сут.

На рис. 3 приведен фрагмент укрупненного сетевого графика строительства земляного полотна на участке автомобильной дороги «Лена» в условиях высокотемпературной мерзлоты, рассчитанного с применением программных комплексов «POTOK+» и «Project Professional 2010».

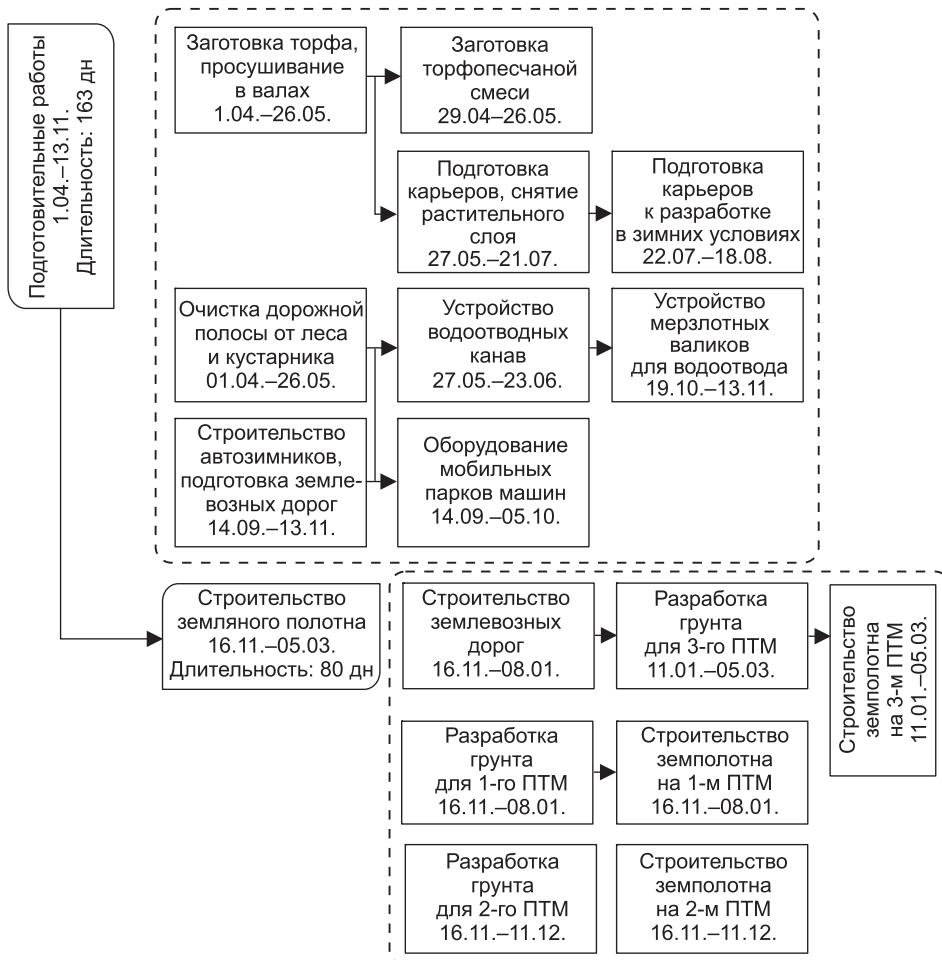


Рис. 3. Пример сетевого графика строительства земляного полотна на ММГ

Вывод. Использование методов моделирования с помощью компьютерных технологий позволяет на основе варианного проектирования организационно-технологических решений добиться повышения эффективности строительства дорог на многолетнемерзлых основаниях в северных условиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дубенков, А.А. Комплексная оценка инженерно-геологических и мерзлотных условий при районировании трассы дороги [Текст] / А.А. Дубенков // Вестн. СибАДИ. — Омск : Изд-во СибАДИ. — 2013. — № 4 (32). — С. 46–52.
2. Строительство путей сообщения на Севере: науч.-практ. изд. [Текст] / С.Я. Луцкий, Т.В. Шепитко, П.М. Токарев, А.Н. Дудников. — М. : ЛАТМЭС, 2009. — 286 с.
3. Боброва, Т.В. Проектно-ориентированное управление производством работ на региональной сети автомобильных дорог: моногр. [Текст] / Т.В. Боброва. — Омск : Изд-во СибАДИ, 2006. — 334 с.
4. Боброва, Т.В. Прогнозирование эффективности дорожных конструкций на многолетнемерзлых грунтах [Текст] / Т.В. Боброва, Е.А. Бедрин, А.А. Дубенков // Вестн. СибАДИ. — Омск : СибАДИ. — 2011. — № 4 (22). — С. 11–15.

*ДУБЕНКОВ Андрей Алексеевич, асп.; E-mail: hrnhrnt@gmail.com
Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия, г. Омск*

Получено 05.05.14

Dubenkov Andrey Alexeevich, post-graduate student; E-mail: hrnhrnt@gmail.com, Siberian State Automobile and Highway Academy, Omsk, Russia

MODELING OF ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS IN THE SUBGRADE CONSTRUCTION PROJECTS ON PERMAFROST

A complex mathematical models year roadbed construction of roads on permafrost grounds thread-district method. The basis of division runs on areas (design and technology modules) on the principles of linear road zoning into account climatic and permafrost factors. Options flows are modeled for various design solutions subgrade, organizational and technological constraints on the resource front and inter-process communication, consider the basic conditions of production and preparation work.

Key words: design and process modules, resource and front communication, geocryology, project management, schedule.

REFERENCES

1. Dubenkov, A.A. Comprehensive assessment of geotechnical and permafrost conditions at zoning road route [Text] / A.A. Dubenkov // Herald SibADI. — Omsk : Publ. SibADI. — 2013. — N 4 (32). — P. 46–52.
2. Construction of Railways in the North: Scientific and practical publication. [Text] / S.Ya. Lutsky, T.V. Shepitko, P.M. Tokarev, A.N. Dudnikov. — M. : LATMES, 2009. — 286 p.
3. Bobrova, T.V. Project-oriented production management work on a regional road network : monogr. [Text] / T.V. Bobrova. — Omsk : Publ. SibADI, 2006. — 334 p.
4. Bobrova, T.V. Predicting the effectiveness of road structures on permafrost [Text] / T.V. Bobrova, E.A. Bedrin, A.A. Dubenkov // Herald SibADI. — Omsk : Publ. SibADI. — 2011. — N 4 (22). — P. 11–15.

НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ

УДК 504.06

И.М. ЕВГРАФОВА, А.А. ЛАВРУСЕВИЧ

К ВОПРОСУ ОБОСНОВАНИЯ КОРРЕКТИРОВАНИЯ РАЗМЕРОВ САНИТАРНО-ЗАЩИТНОЙ ЗОНЫ

Проанализированы подходы при проектировании санитарно-защитной зоны. Корректировка по фактору загрязнения атмосферного воздуха и шума позволила сократить ее размеры. Выявлено, что количественной оценке не подвергаются биологическое загрязнение, загрязнение грунтов и грунтовых вод и др.

Ключевые слова: загрязнение окружающей среды, санитарно-защитная зона, шум, экологическое проектирование, экологические нормативы.

В соответствии с требованиями ФЗ от 30.03.99 № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» и СанПиН 2.2.1 / 2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов» вокруг предприятий, их отдельных зданий и сооружений с технологическими процессами, являющимися источниками воздействия на среду обитания и здоровье человека, необходимо создавать санитарно-защитные зоны (СЗЗ), т.е. выделять территории, отделяющие их от остальной застройки [1].

Актуальность исследований обусловлена тем, что в соответствии с действием экологического законодательства, при обосновании СЗЗ требуется учет всех факторов негативного воздействия, хотя на практике количественно оценивается только загрязнение атмосферного воздуха и шумовое воздействие.

Цель работы: произвести геоэкологическое обоснование корректировки размеров СЗЗ объекта (на примере складского хозяйства предприятия нефтегазового комплекса).

Основные задачи работы:

1. Оценка подходов при проектировании СЗЗ.
2. Геоэкологический анализ факторов негативного воздействия на окружающую среду (на примере складского хозяйства предприятия нефтегазового комплекса).
3. Корректировка размеров СЗЗ в соответствии с действующими нормативами.

Территория СЗЗ предназначена для обеспечения снижения уровня воздействия до требуемых гигиенических нормативов по всем факторам воздействия за ее пределами, создания санитарно-защитного и эстетического барьера между территорией предприятия (группы предприятий) и

охраняемой территорией, организации дополнительных озелененных площадей, обеспечивающих экранирование, асимиляцию, фильтрацию загрязнителей атмосферного воздуха и повышение комфортности микроклимата. Границей СЗЗ является линия, ограничивающая территорию, за пределами которой нормируемые факторы воздействия не превышают установленные гигиенические нормативы.

Получение разрешения на размещение предприятий зависит от полноты обоснования уровня воздействия технологических процессов на окружающую среду. Таким обоснованием является проект СЗЗ [2]. Он обязательный элемент любого объекта, который может быть источником химического, биологического или физического воздействия на среду обитания и здоровье человека. Установление СЗЗ по комплексу факторов (загрязнение атмосферного воздуха, акустическое воздействие, воздействие электромагнитных полей и иных факторов) создает основу экологически безопасного землепользования.

В СЗЗ устанавливаются ограничения для осуществления градостроительной деятельности в соответствии с санитарными нормами и правилами Российской Федерации, Градостроительного кодекса Российской Федерации, градостроительными нормами и правилами. Границей СЗЗ является линия, ограничивающая территорию, за пределами которой нормируемые факторы воздействия не превышают установленные гигиенические нормативы. Достаточность ширины СЗЗ по принятой классификации должна быть подтверждена выполненными по согласованным и утвержденным в установленном порядке методам расчета рассеивания выбросов в атмосферу для всех загрязняющих веществ, распространения шума, вибрации и электромагнитных полей с учетом фонового загрязнения среды обитания по каждому из факторов за счет вклада действующих, намеченных к строительству или проектируемых предприятий, а также данными натурных наблюдений для действующих предприятий [3, 4].

Согласно СанПиН 2.2.1 / 2.1.1.1200–03 Отрадненская база ООО «Самаранефтегаз–Склад», относится к объектам III класса с ориентировочной СЗЗ 300 м. В соответствии с проведенными расчетами выбросов загрязняющих веществ в атмосферу будет выбрасываться 21 загрязняющее вещество в количестве 2,796 т, из них пять групп веществ обладают эффектом суммации. Ближайшие жилые дома расположены на расстоянии 95 м в северо-западном и на расстоянии 152 м в юго-западном направлениях.

Основными источниками выделения вредных веществ и источниками шумового воздействия на сопредельные территории являются двигатели автомашин и спецтехники во время движения по территории, погрузочные работы, сварочные и покрасочные работы, работа на наждачном и деревообрабатывающем станках. Концентрации загрязняющих веществ на границе ориентировочной СЗЗ и ближайших жилых массивов должны составлять менее 1 ПДК, по всем ингредиентам и группам суммации, по шумовому воздействию — уровень звука не должен превышать установленные ПДУ для населенных мест.

Расчетная СЗЗ определяется с учетом зон атмосферного загрязнения и зон вредного влияния физических факторов предприятия (табл. 1).

Таблица 1. Перечень загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу

Код	Вещество	ПДКмр/ПДКсс/ОБУВ	Класс опасности	Выброс вещества	
				г/сут	т/год
0301	Азота диоксид	0,2/0,04/—	3	0,1894703	0,2296909
0304	Азота оксид	0,4/0,06/—	3	0,0080368	0,0287784
0330	Ангидрид сернистый	0,5/0,05/—	3	0,1577882	0,0699856
2704	Бензин (нефтяной, малосернистый в пересчете на углерод)	5/1,5/—	4	0,0399102	0,1498177
0123	Железа оксид (в пересчете на железо)	—/0,04/—	3	0,0417320	0,0907191
2732	Керосин	—/—/1,2	—	0,7140745	0,3630420
0322	Кислота серная по молекуле H_2SO_4	0,3/0,1/—	2	0,0000199	0,0000029
0616	Ксиол	0,2/—/—	3	0,0135000	0,0112500
0143	Марганец и его соединения (в пересчете на диоксид марганца)	0,01/0,001/—	2	0,0007442	0,0015589
2735	Масло минеральное нефтяное	—/—/0,05	—	0,0031050	0,0958210
2930	Пыль абразивная	—/—/0,04	—	0,0052000	0,0009360
2936	Пыль древесная	—/—/0,5	—	0,0521733	0,0105181
2908	Пыль неорганическая (20 % < SiO_2 < 70 %)	0,3/0,1/—	3	0,0032873	0,0024580
2909	Пыль неорганическая (SiO_2 < 20 %)	0,5/0,15/—	3	0,0105778	0,0288960
0328	Сажа	0,15/0,05/—	3	0,0089142	0,0159872
0333	Сероводород	0,008/—/—	2	0,0000002	0,0000003
2752	Уайт-спирит	—/—/1	—	0,0135000	0,0112500
2754	Углеводороды предельные $C_{12}-C_{19}$ (в пересчете на органический углерод)	1/—/—	4	0,0000548	0,0001035
0337	Углерода оксид	5/3/—	4	0,5700933	1,6845030
0342	Фтористые соединения газообразные (фтористый водород и др.)	0,02/0,005/—	2	0,0000939	0,0001150
0344	Фтористые соединения: плохо растворимые неорганические фториды	0,2/0,03/—	2	0,0002695	0,0003300
Итого:				1,8325454	2,7957636

Для расчета рассеивания были выбраны 10 точек на границе ориентировочной СЗЗ. Расчеты рассеивания загрязняющих веществ проведены при наихудших метеорологических условиях на границе ориентировочной СЗЗ и ближайшей жилой зоны, на расстоянии 95 м от границы предприятия с северо-западной стороны и на расстоянии 152 метра с юго-западной стороны при наиболее интенсивном и одновременном режиме работы оборудования.

Результаты расчетов рассеивания загрязняющих веществ показали, что концентрации загрязняющих веществ на границе ориентировочной санитарно-защитной зоны и жилой зоны не превышают 1 ПДК по всем ингредиентам и группам суммации.

Концентрации загрязняющих веществ без учета фона на границе ближайшего жилого дома в долях ПДК составили по диоксиду азота

К вопросу обоснования корректирования размеров санитарно-защитной зоны

0,154 ПДК, по всем остальным ингредиентам и группам суммации менее 0,22 ПДК. Концентрации загрязняющих веществ с учетом фона на границе ближайшего жилого дома в долях ПДК составили по диоксиду азота 0,154 ПДК, по всем остальным ингредиентам и группам суммации менее 0,6 ПДК.

Расчет рассеивания показал, что на расстоянии 98 и 152 м от границы предприятия и ближайшей жилой зоны концентрации всех загрязняющих веществ и групп суммации составили величину менее 1 ПДК, что соответствует требованиям СанПиН 2.1.6.1032-01.

Расчетная СЗЗ по показателям загрязнения атмосферного воздуха представлена на рис. 1.

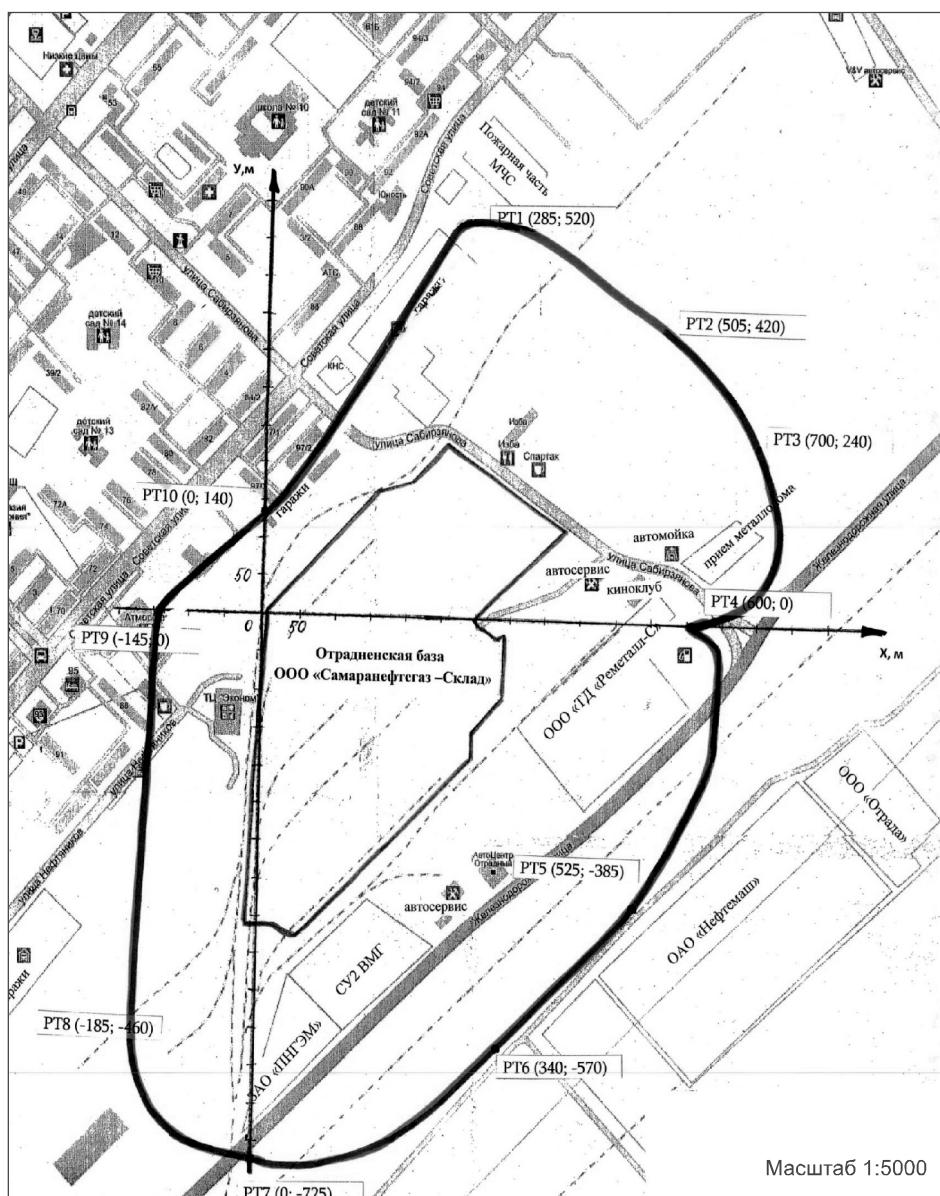


Рис. 1. Расчетная санитарно-защитная зона по показателям загрязнения атмосферного воздуха

В соответствии со СНиП 23-03-2003 нормируемыми параметрами непостоянного шума являются эквивалентные уровни звука $L_{A\text{экв}}$, дБА, и максимальные уровни $L_{A\text{макс}}$, дБА.

Основными источниками шума на производственной площадке предприятия служат: непостоянные источники шума — двигатели автомашин при проезде по территории предприятия, погрузочные работы; постоянные источники шума — сварочный агрегат, металлообрабатывающий станок, компрессоры, деревообрабатывающий станок.

Характеристика источников шума приведена в табл. 2.

Для расчета эквивалентного и максимального уровня шума были определены контрольные точки на расстоянии 300, 95, 152 м от границы предприятия и ближайших жилых массивов.

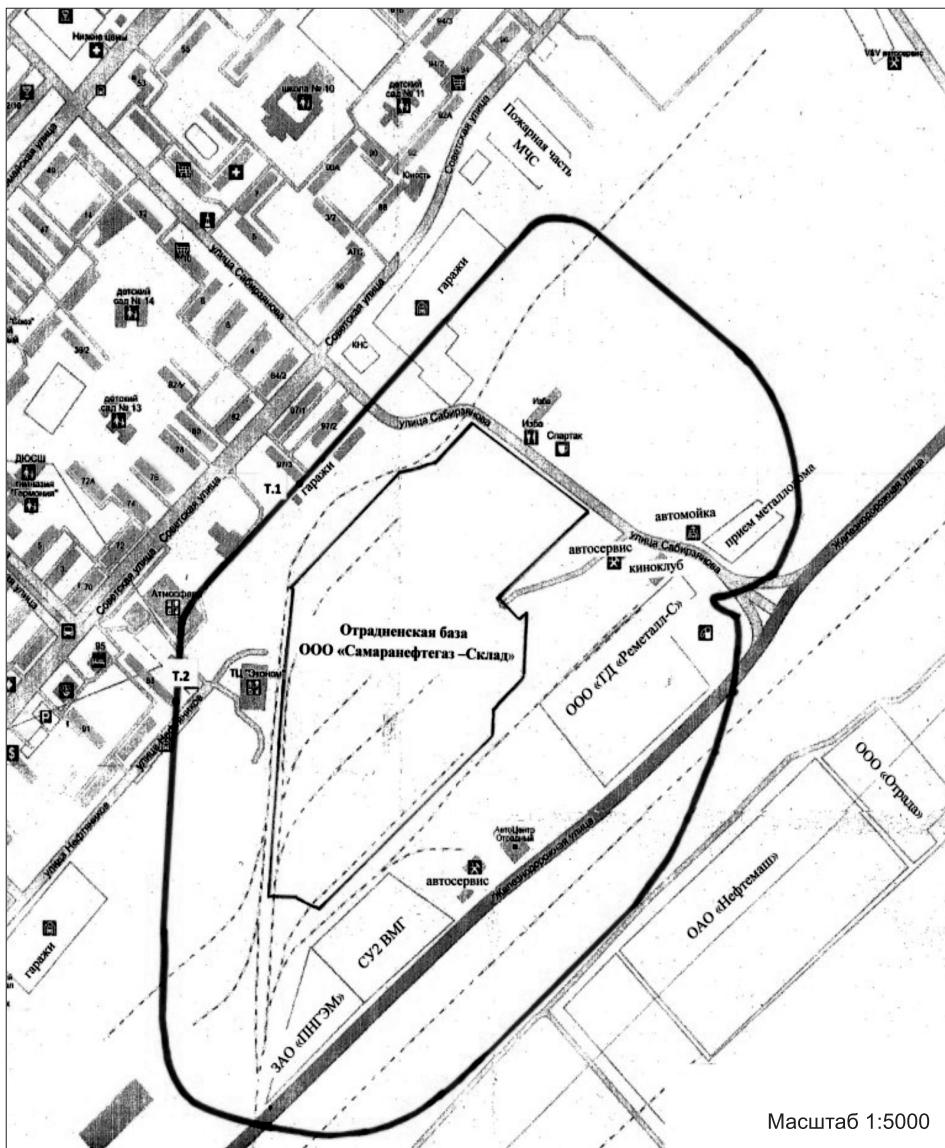


Рис. 2. Санитарно-защитная зона по совокупности показателей загрязнения атмосферного воздуха и шума

Таблица 2. Источники шума

Источник шума	Уровни звукового давления, дБА, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
№ 1 (сварочный агрегат)	99	99	92	86	83	80	78	76	74
№ 2 (компрессор 6ВВ-20/9)	97	97	93	91	94	98	89	87	85
№ 3 (станок деревообрабатывающий КСМ-1А)	82	82	81	87	90	92	95	97	96
№ 4 (наждачный станок)	81	81	93	85	89	88	88	93	79
№ 5 (транспортные потоки)	44,3	44,3	46,5	49,2	53,5	56,5	57,8	56	51,6

Согласно расчетам шумового воздействия для сопредельных территорий от территории Отрадненской базы ООО «Самаранефтегаз–Склад» выявлено, что уровень звукового давления (максимальный и эквивалентный уровни), создаваемого автотранспортом и оборудованием, на заданном расстоянии от границы предприятия и ближайшей жилой зоны соответствует требованиям СН 2.2.4 / 2.1.8.562–96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».

Расчетный размер СЗЗ по загрязнению атмосферного воздуха и уровню шумового воздействия устанавливается от границы Отрадненской базы: с северной, северо-восточной, восточной, юго-восточной, южной сторон на расстоянии 300 м, с юго-западной, западной на расстоянии 152 м, с северо-западной на расстоянии 95 м (рис. 2).

Выводы. 1. Действующие подходы при проектировании СЗЗ не позволяют учесть все факторы негативного воздействия на окружающую среду, в частности, биологическое загрязнение, загрязнение грунтов и грунтовых вод и др.

2. Корректировка размеров СЗЗ производится по направлениям размещения объектов рекреации и жилой зоны. При наличии неосвоенных площадей ее размер, как правило, не изменяется.

3. Применение существующих подходов для рассматриваемого объекта позволило значительно изменить размеры СЗЗ с 300 до 152 и 95 м, что определяется размещением расчетных точек на границе жилой зоны (в которых соблюдаются санитарно-гигиенические нормативы), а не действительным уровнем загрязнения окружающей среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексашина, В.В. Организация санитарно-защитной зоны промышленного предприятия в условиях городской застройки [Текст] / В.В. Алексашина // Промышленное и гражданское строительство. — 2004. — № 10. — С. 28–29.
2. Болотская, М. Теоретические основы решения проблемы санитарной охраны атмосферного воздуха [Текст] / М. Болотская. — М., 2003. — С. 113–115.
3. Орлов, О.Г. Современные тенденции формирования акустической ситуации в крупных городах [Текст] / О.Г. Орлов // Материалы научно-технической конференции «Строительная физика в XXI веке». — М. : НИИСФ РААСН, 2006. — С. 356–358.

4. Пинигин, М.А. Санитарная классификация предприятий и проблема установления санитарно-защитных зон [Текст] / М.А. Пинигин, Г.И. Некрасова, А.Е. Юань, Л.А. Федотова // Гигиена и санитария. — 2003. — № 6. — С. 22–24.

*ЕВГРАФОВА Ирина Михайловна, д-р техн. наук, доц.; E-mail: irina-sen811@yandex.ru
Московский государственный строительный университет
ЛАВРУСЕВИЧ Андрей Александрович, д-р геол.-минерал. наук, доц.; E-mail:
lavrusevich@yandex.ru
Московский государственный строительный университет*

Получено 30.05.14

Evgrafova Irina Michailovna, doctor of technical sciences, assistant professor; E-mail: irina-sen811@yandex.ru, Moscow State University of Civil Engineering, Russia

Lavrusevich Andrey Alexandrovich, doctor of geological and mineralogical sciences, assistant professor; E-mail: lavrusevich@yandex.ru, Moscow State University of Civil Engineering, Russia

TO CORRECT THE SCREEN SIZE QUESTION THE VALIDITY OF THE ENVIRONMENTAL ZONE

This paper analyzes approaches for the design of the environmental zone. The adjustment factor atmospheric air and noise has reduced its size. Revealed that quantify not undergo biological contamination, contamination of soil and groundwater, etc.

Key words: environmental pollution, ecological zone, noise, environmental design, environmental regulations.

REFERENCES

1. Aleksashina, V.V. Organization of the sanitary protection zone of industrial enterprise in urban areas [Text] / V.V. Aleksashina // Industrial and civil construction. — 2004. — N 10. — P. 28–29.
2. Bolotskaya, M. Theoretical bases solve the problem of sanitary protection of atmospheric air [Text] / M. Bolotskaya. — M., 2003. — P. 113–115.
3. Orlov, O.G. Modern trends shaping the acoustic situation in the major cities [Text] / O.G. Orlov // Materials Science and Technology Conference «Building Physics in the XXI century». — M. : NIISF RAACS, 2006. — P. 356–358.
4. Pinigin, M.A. Sanitary classification of enterprises and the problem of establishing sanitary protection zones [Text] / M.A. Pinigin, G.I. Nekrasova, A.E. Yuan, L.A. Fedotova // Hygiene and Sanitation. — 2003. — N 6. — P. 22–24.

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

УДК 624.131

В.Г. ОФРИХТЕР, Я.В. ОФРИХТЕР

УЛУЧШЕНИЕ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО УПЛОТНЕНИЯ

Твердые бытовые отходы (ТБО) представляют особый тип грунтоподобного основания. После окончания закладки отходов и завершения процессов консолидации массивы ТБО могут использоваться в качестве оснований под сооружения. При подготовке к использованию физико-механические свойства ТБО могут быть улучшены различными методами. Одним из подходов является динамическое уплотнение.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, динамическое уплотнение.

Введение. Метод динамического уплотнения для улучшения свойств грунтов, предложенный Ю.М. Абелевым [1], получил в мире неофициальное название «русский метод». Широкое его применение в России было ограничено техническими возможностями серийно выпускаемых базовых машин, используемых для подъема и свободного сбрасывания трамбовок, поскольку для компенсации обратной реакции подъемного оборудования грузоподъемность базовой машины должна превышать вес трамбовки в среднем в 3–4 раза [2].

Метод динамического уплотнения применяется в течение нескольких десятилетий. Особенности проектирования, строительства и область использования метода рассмотрены некоторыми исследователями [1, 3–10 и др.]. Оборудование для уплотнения подвергается постоянной эволюции. Что касается формы трамбовки, некоторые исследования [11, 12] указали на существенное улучшение показателей грунта при применении конической трамбовки вместо плоскодонной. Однако это не во всех случаях верно. С помощью модифицированной крановой системы можно сбрасывать вес от 6 до 22 т на одном канате. Установлено, что канат, на котором трамбовка подвешивается на кран, снижает энергию удара максимум на 20 % [6]. Альтернативная система используется в Китае. Легкое подъемное оборудование и стойки, поддерживающие стрелу, позволяют свободно сбросить трамбовку весом до 30 т с высоты более 10 м. Особое оборудование с энергией удара 4000 т·м было использовано при строительстве аэропорта в Ницце (Франция). Уплотнительная рама 900 т·м была также применена в проекте по уменьшению разжижения грунтов в Палм Спрингс (Калифорния, США). Однако перемещение этих гигантских конструкций с одного места на другое не экономично. Таким образом, их использование ограничено лишь мегапроектами.

Недавнее усовершенствование системы динамического уплотнения заключается в использовании поступательного сброса. Трамбовка может свободно падать после медленной разгрузки со стрелы. Это улучшает КПД сброса на канате и кроме того снижает обратную реакцию подъем-

ного оборудования. С помощью этого усовершенствования можно достичь эффективности энергии удара более чем 875 т·м.

Дальнейшее развитие метод динамического уплотнения получил в технологии динамической пригрузки. Теоретический подход к динамической пригрузке был предложен в статье [13]. Подобные работы были предприняты в резервуарном парке Jurong Mobil Oil в Сингапуре [14], где грунтовая пригрузка, уложенная на месте расположения будущего резервуара была «динамически пригружена» трамбовкой с энергией удара 300 т·м вокруг носка пригрузки, что вызвало немедленную осадку от 3 до 12 см после 40 дней статической пригрузки. Если величина улучшения тесно связана с состоянием грунта, то важным расчетным параметром ударной технологии становится глубина улучшения.

Оценка глубины улучшения грунтов при динамическом уплотнении. Метод оценки глубины эффекта значительного уплотнения D , как функции квадратного корня от энергии, представлен в работах [7] и [8]. В статье [7] предложено эмпирическое уравнение, в котором глубина влияния равна квадратному корню от энергии импульса, т.е. произведению веса трамбовки в тоннах на высоту сброса в метрах

$$D = \sqrt{WH}. \quad (1)$$

Позже на основе результатов полевых экспериментов, другие исследователи предложили применение к оригинальному уравнению (1) коэффициентов меньше единицы для оценки глубины влияния.

Например, в статье [15] предложен понижающий коэффициент 0,5 на основе результатов исследований по 7 площадкам и определения глубины влияния, как глубины, на которой количество ударов SPT испытания увеличивалось бы не менее чем на 3–5 ударов. Не устанавливая критерии для определения глубины влияния, после изучения результатов со 124 площадок экспериментально доказано, что значение коэффициента может быть от 0,3 до 0,8 [16]. Значения понижающего коэффициента в зависимости от типа грунта и степени водонасыщения предложены в работе [6].

Хотя на практике эмпирическое уравнение [7] продолжает оставаться методом выбора оценки глубины влияния, были предприняты более современные попытки глубины оценки влияния с помощью численных моделей. Например, в работе [4] определена глубина влияния, как глубина, на которой относительная плотность возрастает как минимум на 5 %, и предложено уравнение для сухих песков в зависимости от высоты сброса, веса и радиуса трамбовки

$$D = 2(WHR)^{0.25}. \quad (2)$$

В результате исследований были сделаны выводы [4]:

1. Эмпирическое уравнение Менарда (1) для определения глубины улучшения пригодно, когда вес трамбовки и высота сброса находятся в обычных пределах. Для тяжелых трамбовок и более высокой энергии удара эта зависимость переоценивает глубину улучшения.

2. На глубину улучшения влияют не только вес трамбовки и высота сброса, но и радиус трамбовки.

3. Глубина улучшения не увеличивается линейно приложенной энергии, и пригодна концепция предельной энергии импульса.

Позднее были также предложены иные методы для оценки глубины улучшения [5, 17]. С. Вараксин усовершенствовал зависимость следующим образом [17]:

$$D = C \delta \sqrt{WH}, \quad (3)$$

где C — тип сбрасывания трамбовки. Его значения приведены в таблице; d — корректирующий коэффициент, равный 0,9 для метастабильных грунтов, свежих отсыпок или недавних намывов, 0,4–0,6 для песков.

Однако, поскольку степень улучшения изменяется с глубиной, более желательно описывать количественный показатель уплотнения как функцию глубины. По этой причине вышеупомянутое уравнение было пересмотрено [18]

$$f_z = \frac{f_2 - f_1}{D^2} (z - NGL)^2 + f_1, \quad (4)$$

где f_z — коэффициент улучшения на отметке z ;

z — глубина, м;

NGL — уровень природного грунта;

D — глубина влияния динамической консолидации;

f_1 — максимальный безразмерный коэффициент улучшения, наблюдаемый на поверхности. Можно принять значение $f_1 = 0,008E$, где E — энергия, т·м / м²;

f_2 — коэффициент улучшения на максимальной глубине влияния, которая может быть достигнута.

Большинство проектов по улучшению грунта динамическими методами устанавливается на основе требований к плотности, часто используется относительная плотность. Необходимо иметь в виду, что ниже уровня грунтовых вод исключительно сложно замерить плотность или относительную плотность, и процесс корреляции полевых измерений с относительной плотностью в крайней степени зависит от природных разновидностей грунта, типа испытаний и влияния давления вышележащих слоев грунта. Необходимо приложить усилия, чтобы определить такие показатели, как несущая способность, устойчивость, осадки или коэффициент запаса на разжижение.

Динамическое уплотнение также применялось под водой при строительстве порта в Кувейте. 32-тонная трамбовка была использована для уплотнения слоя каменной отсыпки толщиной 2 м на глубине 10 м под водой.

Динамическое уплотнение ТБО. При улучшении свойств отходов требуется обеспечить изменение их свойств на глубину 10 м и более, что достигается при сбрасывании трамбовок весом 20 т и более с высоты от 10 м. Целью улучшения отходов является увеличение их прочности

Значения коэффициента C [7]

№ п/п	Тип сбрасывания трамбовки	C
1	Свободное сбрасывание	1,0
2	Установка для сбрасывания	0,89
3	Механическая лебедка	0,75
4	Гидравлическая лебедка	0,64
5	Двойная гидравлическая лебедка	0,50

и предвосхищение осадок, а также влияние на выход газа и миграцию фильтрата.

Причинами применения улучшающих технологий к мусорным массивам являются:

- уплотнение мусора и увеличение осадок, позволяющее образовать дополнительные пространства для складирования мусора;
- стабилизация отходов:
- перед установкой изоляционной системы;
- перед расширением существующего полигона;
- для повторного использования полигона.

Для улучшения отходов применяются некоторые технологии:

- предварительная пригрузка;
- песчаные сваи;
- динамическое уплотнение;
- струйная стабилизация.

Наиболее широко используется технология динамического уплотнения, иначе называемая динамической консолидацией или тяжелым утрамбовыванием. Основная концепция этой технологии опубликована в работе [7]. Метод заключается в сбрасывании с помощью крана тяжелых стальных или бетонных блоков, либо толстых оболочек, заполненных песком или бетоном весом от 50 до 200 кН с высоты до 40 м. Вес сбрасываемых грузов может достигать 2000 кН. Оставляемый на поверхности отпечаток может быть квадратным, круглым или восьмиугольным.

Характерным параметром ударных нагрузок является динамическое контактное давление. Этот параметр зависит от массы и размеров сбрасываемого груза, высоты сбрасывания и свойств грунта. На рис. 1 представлено распределение динамических напряжений от ударной нагрузки по глубине. Для ТБО параметр v_0 может быть принят 25° [19].

Схема испытаний и результаты измерений показаны на рис. 2 [19]. На основании этих измерений можно определить отдачу от динамического уплотнения на инфраструктуру и площадку полигона. Дальнейшее применение замеров вибрации и ускорений для оценки качества динамического уплотнения ТБО обсуждалось в статьях [20–22].

Вес трамбовки W и высота сброса H оказывают решающее влияние на размер улучшаемой толщи отходов.

Глубина улучшения определяется как глубина, на которой динамическая консолидация вызывает некоторые улучшения свойств засыпки. Вес трамбовки W , высота сброса H , а следовательно, и тип подъемного оборудования, в соответствии с типом улучшаемого грунта и глубиной требуемого улучшения, отношение между единицей энергии и глубиной улучшения устанавливаются из выражения [23]

$$D = \delta \alpha \sqrt{WH}, \quad (5)$$

где D — глубина улучшения, м;

W — вес трамбовки, т;

H — высота сброса;

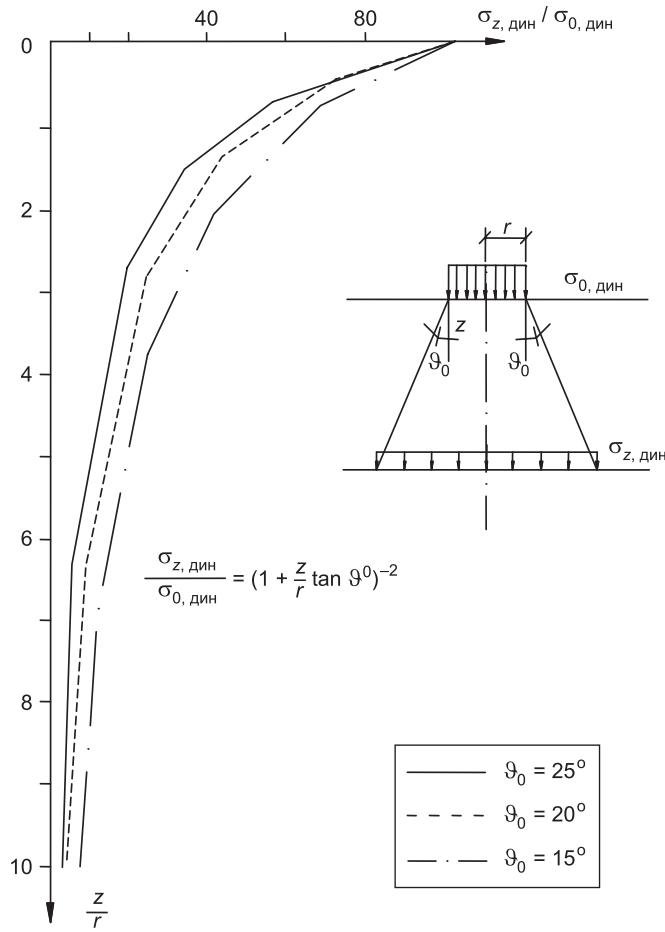


Рис. 1. Распределение динамических напряжений по глубине [19]

δ — фактор скорости (0,9 для сброса на канате, 1,2 для свободного падения);

α — фактор структуры грунта (между 0,3 и 0,7 для различных типов грунта).

Вышеприведенное уравнение можно так же записать, как [23]

$$D = n\sqrt{WH}, \quad (6)$$

где n — коэффициент, учитывающий тип грунта, тип трамбовки, режим сброса трамбовки и т.д. Для отходов $n = 0,33\text{--}0,39$ [24].

Современные методы оценки результатов динамической консолидации ТБО. В результате применения современных механизмов для подъема и сброса трамбовок и усовершенствованных технологий динамического уплотнения становится возможной значительная интенсификация трамбующих воздействий на улучшаемый массив. При этом режим уплотнения «до отказа» уже не является актуальным, поскольку современные полевые экспресс-методы оценки свойств улучшенного грунта позволяют оценить результаты улучшения на любом этапе выполнения работ после любого количества ударов. Динамическое уплотнение

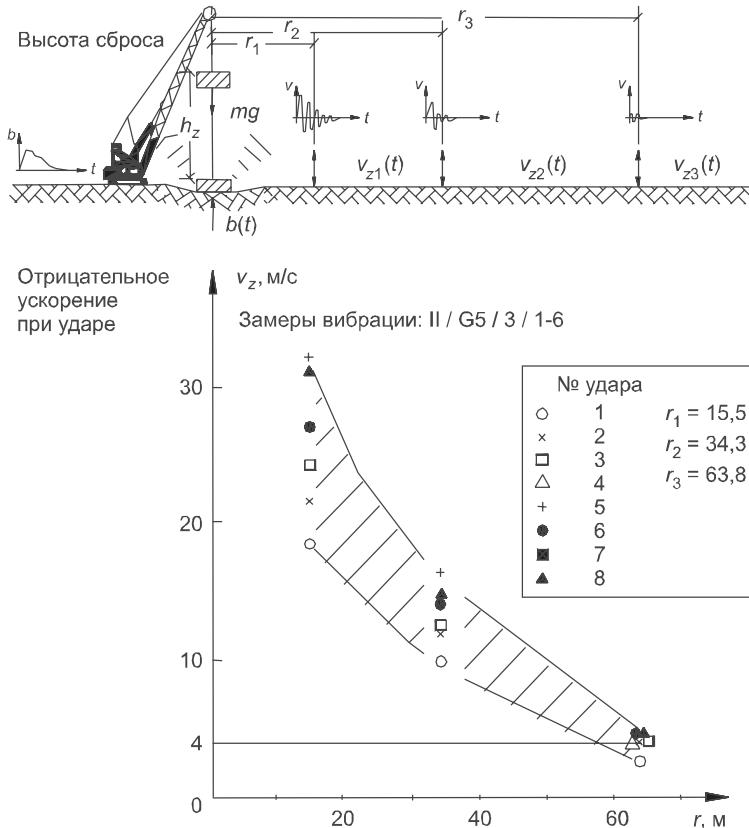


Рис. 2. Схема испытаний и результаты измерений при динамическом уплотнении смеси ТБО и строительного мусора [19]

производится в несколько этапов. На первом этапе улучшаемый массив подвергается максимальному воздействию для уплотнения нижних слоев отходов. Для уплотнения верхних слоев ТБО на заключительном этапе выполняется так называемое заглаживание — уплотнение более легкими трамбовками, сбрасываемыми с меньшей высоты. В современной практике улучшение свойств грунтов и грунтоподобных материалов ведется не «до отказа», а до требуемой степени уплотнения, которая оперативно определяется современными экспресс-методами полевых испытаний грунтов, такими как прессиометрические испытания (PMT), статическое зондирование (CPT), стандартные пенетрационные испытания (SPT), испытания крыльчаткой (VT). Компьютерное управление современными методами испытания грунтов позволяет практически мгновенно по завершении тестирования получать и оценивать результаты динамического уплотнения и принимать оперативные решения о достаточности улучшающих воздействий на массив слабого грунта. При этом сокращаются сроки производства работ, а оценка качества ведется современными методами.

Заключение. Динамическое уплотнение является одним из эффективных подходов улучшения свойств проблемных грунтов и грунтоподобных материалов. Современные технологии динамического уплотнения предусматривают оперативную оценку результатов улучшения при производстве работ полевыми экспресс-методами, что гарантирует качество

уплотнения и корректную оценку несущей способности улучшенных массивов, сложенных проблемными грунтоподобными материалами, к которым относятся твердые бытовые отходы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А б е л е в, Ю.М. Основы проектирования и строительства на просадочных и макропористых грунтах [Текст] / Ю.М. Абелев, М.Ю. Абелев. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Госстройиздат, 1968. — 431 с.
2. М а н г у ш е в, Р.А. Методы подготовки и устройства искусственных оснований [Текст] / Р.А. Мангушев, Р.А. Усманов, С.В. Ланько, В.В. Конюшков. — М. ; СПб. : АСВ, 2012. — 266 с.
3. К р у т о в, В.И. Основания и фундаменты на просадочных грунтах [Текст] / В.И. Крутов. — Киев : Будівельник, 1982. — 224 с.
4. G h a s s e m i, A. Validity of menard relation in dynamic compaction operations [Текст] / A. Ghassemi, A. Pak, H. Shahir // Proceedings of ICE «Ground Improvement». — L. : Thomas Telford Limited, 2009. — Vol. 162(1). — P. 37–45.
5. H a m i d i, B. Predicting soil parameters by modelling dynamic compaction induced subsidence [Текст] / B. Hamidi, S. Varaksin, H. Nikraz // Teh K., Davies. I., Howard. I. (eds) Proceedings of 6th Australasian Congress on Applied Mechanics (ACAM6). — Crows Nest, NSW, Australia : Engineers Australia, 2010. — P. 889–898.
6. L u k a s, R.G. Dynamic compaction [Текст] / R.G. Lukas // Geotechnical engineering circular N 1 FHWA-SA-95-037. — Washington, DC, USA : FHWA, 1995.
7. M e n a r d, L. Theoretical and practical aspects of dynamic consolidation [Текст] / L. Menard, Y. Broise // Geotechnique. — L. : Thomas Telford Limited, 1975. — Vol. 25(1). — P. 3–18.
8. M i t c h e l l, J.K. Soil improvement: state-of-the-art report [Текст] / J.K. Mitchell // Flodin N. (ed.) Proceedings of the X International conference on soil mechanics and foundation engineering. — Rotterdam : A.A.Balkema, 1981. — Vol. 3. — P. 509–565.
9. S l o c o m b e, B.C. Dynamic compaction [Текст] / B.C. Slocombe // Moseley M.P., Kirsch k. (eds) Ground improvement. — Second edition. — N. Y. : Spon Press, 2004. — P. 93–118.
10. W e l s h, J.P. Densification [Текст] / J.P. Welsh, R.D. Anderson, R.P. Barksdal, C.K. Satyapriya, M.T. Tumay, H.E. Wahls // Welsh J.P. Soil Improvement — A Ten Year Update. ASCE GSP. — N 120. — N. Y. : ASCE, 1987. — P. 67–97.
11. A r s l a n, H. Influence of tamper weight shape on dynamic compaction [Текст] / H. Arslan, G. Baykal, O. Ertas // Proceedings of ICE «Ground Improvement». — L. : Thomas Telford Limited, 2007. — Vol. 11, Iss. 2. — P. 61–66.
12. F e n g, T.-W. Laboratory investigation of efficiency of conical-based pounder to dynamic compaction [Текст] / T.-W. Feng, K.-H.- Chen, Y.-T. Su, Y.-C. Shi // Geotechnique. — L. : Thomas Telford Limited, 2000. — Vol. 50, Iss. 6. — P. 667–674.
13. V a r a k s i n, S. Recent development in soil improvement techniques and their practical applications [Текст] / S. Varaksin // Sols-Soils. — P. : Techniques Louis Menard, 1981. — Iss. 38/39.
14. Y e e, K. Settlement performance of large steel tanks on soft soils improved by large diameter granular columns [Текст] / K. Yee, S. Varaksin // Proceedings of 16th Southeast Asian Geotechnical Conference. — Kuala Lumpur, Malaisia : SEAGS, 2007. — P. 507–513.
15. L e o n a r d s, G.A. Dynamic compaction of granular soils [Текст] / G.A. Leonards, W.A. Cutter, R.D. Holtz // Journal of Geotechnical Engineering. — N. Y. : ASCE, 1980. — Vol. 106, Iss. 1. — P. 35–44.
16. M a y n e, P.W. Ground response to dynamic compaction [Текст] / P.W. Mayne, J.S. Jones, J.C. Dumas // Journal of Geotechnical Engineering. — N. Y. : ASCE, 1984. — Vol. 110, Iss. 6. — P. 757–774.

17. Chu, J. Construction processes [Текст] / J. Chu, S. Varaksin, U. Klotz, P. Menge // Hamza M., Shahien M., El-Mossallamy Y. (eds) Proceedings of the 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. — Amsterdam : IOS Press, 2009. — Vol. 4. — P. 3006–3135.
18. Varaksin, S. Study of parameters for the application of dynamic consolidation and associated techniques [Текст] / S. Varaksin, J. Racinais // Hamza M., Shahien M., El-Mossallamy Y. (eds) Proceedings of 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. — Amsterdam : IOS Press, 2009. — P. 2407–2410.
19. Jessberger, H.L. Untersuchung zur Tiefenverdichtung von Deponien [Текст] / H.L. Jessberger // Forschungsbericht 84-1, Lehrstuhl fur Grundbau und Bodenmechanik. — Ruhr-Universitat, Bochum, Germany, 1984.
20. Briaud, J.-L. The wak test to check the increase in soil stiffness due to dynamic compaction [Текст] / J.-L. Briaud, M.-L. Lin, Ph. Lepert // Landva, A., Knowles, D. (eds) Geotechnics of Waste Fills — Theory and Practice. — Philadelphia : ASTM, 1990. — P. 107–122.
21. Bouazza, A. Quality control of dynamic compaction in municipal solid waste fills [Текст] / A. Bouazza, W.F. Van Impe, W. Haegeman // Kamon M. (ed.) Proceedings of 2nd International Congress on Environmental Geotechnics. — Rotterdam : A.A.Balkema, 1996. — Vol. 2. — P. 635–638.
22. Zekkos (Zeccos), D.P. Evaluation of static and dynamic properties of Municipal Solid-Waste. Dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy [Текст] / D.P. Zekkos (Zeccos). — Berkeley : University of California, Department of Civil and Environmental Engineering, 2005.
23. Yee, K. Upgrading of existing landfills by dynamic consolidation — a geotechnical aspect [Текст] / K. Yee // Master Builders Journal. — Kuala Lumpur, Malaisia : MBAM, 1999. — Iss. 3. — P. 21–35.
24. Faisal, A. Treatment of Highly Compressible Soils [Текст] / A. Faisal, K. Yee, S. Varaksin // Huat B.B.K., Bahia H.M. (eds) Proceedings of the International Conference on Recent Advances in Soft Soil Engineering, Kuching, Saravak, Malaisia. — University Putra Malaisia Press, 1997. —Vol. 1. — P. 60–86.

*ОФРИХТЕР Вадим Григорьевич, канд. техн. наук, доц.; E-mail: ofrikhter@mail.ru
Пермский национальный исследовательский политехнический университет
ОФРИХТЕР Ян Вадимович, студ.; E-mail: ian.ofrikhter@gmail.com
Пермский национальный исследовательский политехнический университет*

Получено после доработки 22.05.14

Ofrikhter Vadim Grigorievich, candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: ofrikhter@mail.ru, Perm National Research Polytechnic University, Russia
Ofrikhter Ian Vadimovich, student; E-mail: ian.ofrikhter@gmail.com, Perm National Research Polytechnic University, Russia

MUNICIPAL SOLID WASTE IMPROVEMENT BY THE METHOD OF DYNAMIC COMPACTION

Municipal solid waste (MSW) are the specific type of soil like bedding. After the ending of waste placement and completion of consolidation processes MSW may be utilized as the bases under the structures. During the preparation for the utilization, physico-mechanical properties of MSW might be improved by different methods. One of such approaches is dynamic compaction.

Key words: municipal solid waste, dynamic compaction.

REFERENCES

1. Abelev, Yu.M. Principles of design and construction on collapsing and macroporous soils [Text] / Yu.M. Abelev, M.Yu. Abelev. — 2-nd edition, revised and expanded. — M. : Gosstroyizdat, 1968. — 431 p.
2. Mangushev, R.A. Methods of preparation and construction of artificial foundations [Text] / R.A. Mangushev, R.A. Usmanov, S.V. Lanko, V.V. Koniushkov. — M. ; SPb. : ASV, 2012. — 266 p.
3. Krutov, V.I. Footings and foundations on collapsible soils [Text] / V.I. Krutov. — Kiev : Budivelnik, 1982. — 224 p.
4. Ghassemi, A. Validity of Menard Relation in Dynamic Compaction Operations [Text] / A. Ghassemi, A. Pak, H. Shahir // Proceedings of ICE «Ground Improvement». — L. : Thomas Telford Limited, 2009. — Vol. 162(1). — P. 37–45.
5. Hamidi, B. Predicting Soil Parameters by Modelling Dynamic Compaction Induced Subsidence [Text] / B. Hamidi, S. Varaksin, H. Nikraz // Teh K., Davies. I., Howard. I. (eds) Proceedings of 6th Australasian Congress on Applied Mechanics (ACAM6). — Crows Nest, NSW, Australia : Engineers Australia, 2010. — P. 889–898.
6. Lukas, R.G. Dynamic compaction [Text] / R.G. Lukas // Geotechnical Engineering Circular N 1 FHWA-SA-95-037— Washington, DC, USA : FHWA, 1995.
7. Menard, L. Theoretical and Practical Aspects of Dynamic Consolidation [Text] / L. Menard, Y. Broise // Geotechnique. — L. : Thomas Telford Limited, 1975. — Vol. 25(1). — P. 3–18.
8. Mitchell, J.K. Soil improvement: state-of-the-art report [Text] / J.K. Mitchell // Flodin N. (ed.) Proceedings of the X International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. — Rotterdam : A.A.Balkema, 1981. — Vol. 3. — P. 509–565.
9. Slocumbe, B.C. Dynamic compaction [Text] / B.C. Slocumbe // Moseley M.P., Kirsch k. (eds) Ground improvement. — Second edition. — N. Y. : Spon Press, 2004. — P. 93–118.
10. Welsh, J.P. Densification [Text] / J.P. Welsh, R.D. Anderson, R.P. Barksdal, C.K. Satyapriya, M.T. Tumay, H.E. Wahls // Welsh J.P. Soil Improvement — A Ten Year Update. ASCE GSP. — N 120. — N. Y. : ASCE, 1987. — P. 67–97.
11. Arslan H. Influence of tamper weight shape on dynamic compaction [Text] / H. Arslan, G. Baykal, O. Ertas // Proceedings of ICE «Ground Improvement». — L. : Thomas Telford Limited, 2007. — Vol. 11, Iss. 2. — P. 61–66.
12. Feng, T.-W. Laboratory investigation of efficiency of conical-based pounder to dynamic compaction [Text] / T.-W. Feng, K.-H.- Chen, Y.-T. Su, Y.-C. Shi // Geotechnique. — L. : Thomas Telford Limited, 2000. — Vol. 50, Iss.6. — P. 667–674.
13. Varaksin, S. Recent development in soil improvement techniques and their practical applications [Text] / S. Varaksin // Sols-Soils. — P. : Techniques Louis Menard, 1981. — Iss. 38/39.
14. Yee, K. Settlement performance of large steel tanks on soft soils improved by large diameter granular columns [Text] / K. Yee, S. Varaksin // Proceedings of 16th Southeast Asian Geotechnical Conference. — Kuala Lumpur, Malaisia : SEAGS, 2007. — P. 507–513.
15. Leonards, G.A. Dynamic Compaction of Granular Soils [Text] / G.A. Leonards, W.A. Cutter, R.D. Holtz // Journal of Geotechnical Engineering. — N. Y. : ASCE, 1980. — Vol.106, Iss. 1. — P. 35–44.
16. Mayne, P.W. Ground Response to Dynamic Compaction [Text] / P.W. Mayne, J.S. Jones, J.C. Dumas // Journal of Geotechnical Engineering. — N. Y. : ASCE, 1984. — Vol. 110, Iss. 6. — P. 757–774.
17. Chu J. Construction processes [Text] / J. Chu, S. Varaksin, U. Klotz, P. Menge // Hamza M., Shahien M., El-Mossallamy Y. (eds) Proceedings of the 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. — Amsterdam : IOS Press, 2009. — Vol. 4. — P. 3006–3135.

18. Varaksin, S. Study of Parameters for the Application of Dynamic Consolidation and Associated Techniques [Text] / S. Varaksin, J. Racinais // Hamza M., Shahien M., El-Mossallamy Y. (eds) Proceedings of 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. — Amsterdam : IOS Press, 2009. — P. 2407–2410.
 19. Jessberger, H.L. Untersuchung zur Tiefenverdichtung von Deponien [Text] / H.L. Jessberger // Forschungsbericht 84-1, Lehrstuhl fur Grundbau und Bodenmechanik. — Ruhr-Universitat, Bochum, Germany, 1984.
 20. Briaud, J.-L. The Wak test to Check The Increase in Soil Stiffness due to Dynamic Compaction [Text] / J.-L. Briaud, M.-L. Lin, Ph. Lepert, // Landva, A., Knowles, D. (eds) Geotechnics of Waste Fills —Theory and Practice. — Philadelphia : ASTM, 1990. — P. 107–122.
 21. Bouazza, A. Quality control of dynamic compaction in municipal solid waste fills [Text] / A. Bouazza, W.F. Van Impe, W. Haegeman // Kamon M. (ed.) Proceedings of 2nd International Congress on Environmental Geotechnics. — Rotterdam : A.A.Balkema, 1996. — Vol. 2. — P. 635–638.
 22. Zekkos (Zeccos), D.P. Evaluation of static and dynamic properties of Municipal Solid-Waste. Dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy [Text] / D.P. Zekkos (Zeccos). — Berkeley : University of California, Department of Civil and Environmental Engineering, 2005.
 23. Yee, K. Upgrading of existing landfills by dynamic consolidation — a geotechnical aspect [Text] / K. Yee // Master Builders Journal. — Kuala Lumpur, Malaisia : MBAM, 1999. — Iss. 3. — P. 21–35.
 24. Faisal, A. Treatment of Highly Compressible Soils [Text] / A. Faisal, K. Yee, S. Varaksin // Huat B.B.K., Bahia H.M. (eds) Proceedings of the International Conference on Recent Advances in Soft Soil Engineering, Kuching, Saravak, Malaisia. — University Putra Malaisia Press, 1997. — Vol. 1. — P. 60–86.
-

ВНЕДРЕНИЕ НАУЧНЫХ ДОСТИЖЕНИЙ В ПРОИЗВОДСТВО

УДК 504.064(470.031)

А.В. ЕВГРАФОВ

ОБЩЕСТВЕННЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ВОДООХРАННЫХ ЗОН ГОРОДА МОСКВЫ

Для получения оперативной и достоверной информации об экологическом состоянии водоохранных зон рек Москвы разработана и реализована программа общественного экологического контроля. Предложена критериальная шкала оценки объектов хозяйственной деятельности по степени опасности, которая позволила создать серию тематических карт и проследить динамику изменений опасности объектов. Полученные выводы позволяют органам исполнительной власти оперативно планировать управленческие решения.

Ключевые слова: водоохранные зоны рек, рекогносцировочное обследование, общественный экологический контроль, экологическая оценка территорий.

Город Москва, как крупный мегаполис, постоянно развивается. Увеличивается численность населения, площадь застройки, а следовательно, растет и антропогенная нагрузка на ландшафт^{1, 2}. В этом отношении водоохранные зоны г. Москвы (рек Москва, Яуза, Городня, Лихоборка, Чермянка, Химка, Сходня и др.) привлекательны для временного размещения объектов хозяйственной деятельности, свалок и т.д., не разрешенных действующими экологическими нормами и правилами^{3–6}.

Все этапы ведения хозяйственной деятельности обязательно должны сопровождаться экологическим контролем, который в основном возлагает на себя государство, но на этапе возведения объекта, эксплуатации и демонтажа общественность — это наиболее мобильный и оперативный рычаг экологического контроля^{7–9}.

¹ Щеголькова Н.М. Влияние города на формирование экологического состояния р. Москвы (Исторический аспект) // Водные ресурсы. М.: Наука, 2007. Т. 34, № 2. С. 238–248.

² Тихонова И.О. Экологический мониторинг малых рек г. Москвы // Вода: Химия и экология. М.: Креативная экономика, 2011. № 7. С. 80–87.

³ Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 № 74-ФЗ в ред. от 28.07.2012.

⁴ Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» в ред. от 01.09.2013.

⁵ Градостроительный кодекс Российской Федерации от 9.12.2004 № 190-ФЗ в ред. от 15.03.2013.

⁶ Федеральный закон от 30.03.1999 № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» в ред. от 23.07.2013.

⁷ Жуков В.В. Общественная приемная — действенный механизм экологического контроля России // Твердые отходы. 2013. № 12(90). С. 49–51.

⁸ Пчельников М.В. Деятельность общественных объединений в сфере экологического контроля в Российской Федерации // Вестник Северо-Кавказского гуманитарного института. 2012. № 2. С. 99–104.

⁹ Кужанова Н.И., Никольская Л.В., Пак Т.С., Соколова И.Г. Организация общественного мониторинга малых рек в г. Пскове // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2012. № 1. С. 31–33.

Актуальность исследований связана с необходимостью организации общественного экологического контроля рек г. Москвы.

Цель работы — разработка научно-методологических подходов общественного экологического контроля для проведения оперативных мероприятий по предотвращению вредного воздействия на окружающую среду.

Задачи для достижения поставленной цели были поставлены следующие:

1) определение заинтересованных лиц в проведении общественного экологического контроля в части дальнейшего использования полученной информации;

2) создание общественных экологических групп;

3) разработка программы и методики рекогносцировочных исследований;

4) натурно-экспериментальные рекогносцировочные исследования и экологическая съемка;

5) аналитическая обработка результатов с передачей их заинтересованным лицам.

Объектом исследования стала водоохранная зона (ВОЗ) рек Москва, Яуза, Городня, Лихоборка, Чермянка, Химка, Сходня и других притоков шириной от уреза воды либо набережных до 100 м. Протяженность маршрутов с учетом проведения изысканий на обоих берегах превысила 200 км, а площадь обследованной территории, таким образом, составила более 20 км².

Предметом изысканий были хозяйствственные (нежилые) объекты в пределах ВОЗ, свалки и другие зоны загрязнения на территории, а также выпуски сточных вод.

Методика исследований включала:

1) визуальный осмотр территории с фотофиксацией по маршрутам вдоль русла рек в местах, не являющихся закрытыми охраняемыми зонами, идентификацию промышленных, транспортных объектов, мест сбросов и выбросов, мест образования и складирования отходов, их морфологического состава;

Таблица 1. Критерии отнесения к категории

Цвет точки	Категория объекта	Критерии отнесения к категории	Примеры объектов
Белый	Неидентифицированный по степени опасности	Отсутствие подтвержденных данных о воздействии на окружающую среду	Предприятие, окруженное забором, объект, о котором в Яндексе и других доступных системах нет информации, «нормальный» по органолептическим признакам сброс (сточные воды без запаха, без цвета)
Зеленый	Безопасный	Отсутствие выбросов, сбросов, размещения отходов, низкая антропогенная нагрузка	Зеленая зона без мусора
Желтый	Потенциально опасный	Локальное антропогенное воздействие на окружающую среду без динамики	Гаражи, автозаправочные станции, автомойки, свалки мусора, стройки
Красный	Опасный	Локальное антропогенное воздействие на окружающую среду с отрицательной динамикой, непостоянной во времени	Сброс с выраженнымми признаками загрязнения (сточные воды имеют запах, цвет), загазованность (запах, цвет)

Общественный экологический контроль состояния водоохранных зон...

2) координатную привязку обнаруженных в 100-метровой водоохранной зоне хозяйственных и иных объектов;

3) ранжирование идентифицированных объектов по степени их воздействия на окружающую среду и потенциальной опасности на неидентифицированные, безопасные, потенциально опасные и опасные (табл. 1).

Параметры маршрутов (начало и конец маршрута, протяженность, количество и плотность точек), проложенных в Центральном, Южном и Юго-Западном округах Москвы приведены в табл. 2.

Графическое приложение к одному из отчетов представлено на рис. 1. Пример одного из фотодокументов с комментариями показан на рис. 2.

Типовая схема отчета с унифицированной нумерацией точек и фотографий, координатной привязкой, описанием видов воздействий и экологической оценкой дана в [1] и [2].

Таблица 2. Параметры маршрутов

Показатель	№ маршрута							Об- щае
	1	2	3	4	5	6	7	
Река	Москва	Москва	Москва	Москва	Москва	Городня	Городня	
Начало маршрута	Ленин-ская слобода, 21/3	Гурьянова, 83	Гурьянова, 83	Даниловская наб., 6	Коломенская наб., 20	Дорожная, д. 5, к. 1	Царицынский пруд	
Конец маршрута	Кожуховский пруд	Кожуховский пруд	МКАД	Коломенская наб., 20	МКАД	Царицынский пруд	Устье р. Городня	

Длина, км

Вдоль уреза	11	7	11	15	13,5	8	13	78,5
С препятствиями	20	9	20	22	15	10	15	111

Количество точек, описанных в 2011 г., шт.

Всего	35	22	10	18	19	4	5	113
Красные	3	4	1	3	4	1	0	16
Желтые	30	18	8	15	10	3	5	89
Белые	6	0	0	0	4	0	0	10
Зеленые	2	0	1	0	1	0	0	4

Количество точек, описанных в 2012 г., шт.

Всего	35	24	11	18	19	4	5	116
Красные	3	4	2	3	4	1	0	17
Желтые	24	19	8	15	10	3	4	83
Белые	6	0	0	0	4	0	0	10
Зеленые	8	1	1	0	1	0	1	12

Изменения в состоянии ранее описанных объектов

Красные	0	0	0	0	0	0	0	0
Желтые	-6	-1	0	0	0	0	-1	-8

Впервые описанные объекты

Красные	0	0	1	0	0	0	0	1
Желтые	0	2	0	0	0	0	0	2

Среднее количество точек на 1 км длины ВОЗ

Красные	0,27	0,57	0,18	0,20	0,30	0,13	0,00	0,22
Желтые	2,18	2,71	0,73	1,00	0,74	0,38	0,31	1,06



Рис. 1. Схема обследованной территории маршрута № 2



Рис. 2. Точка 18, фотография 18.1. «Кладбище кораблей»
2-й Южнопортовый проезд, выше Южного речного порта и ниже моста через проспект Андропова. Вид со 2-го Южнопортового проезда, N55°42'3.83", E37°40'24.82".
Опасность замусоривания территории ВОЗ и акватории. Опасность накопления металлсодержащих и других токсичных ингредиентов в почве и донном грунте. Эвтро-
фикация

Протяженность исследованной ВОЗ (р. Городня и р. Москва от створа на ул. Ленинская слобода возле д. 21/3 до МКАД), а также объем собранной информации об объектах, обнаруженных в ее границах, позволяют сделать статистически достоверные суждения о распределении объектов по категориям экологической опасности, а также о плотности точек на погонный километр ВОЗ. Суммарная длина обследованной полосы составила 78,5 км, описано 116 точек, в том числе 17 опасных (красных), 83 потенциально опасных (желтых), 10 недообследованных (белых) и 12 безопасных (зеленых). Как видим, соотношение между красными и желтыми точками составляет 1:5, и наличие объектов, чья экологическая опасность определяется даже по внешним признакам, — далеко не редкость, в то время как ВОЗ — это территория с особым режимом использования. В среднем подобные проблемные объекты встречаются с частотой 0,22 на 1 км (или 1 объект на 4,6 км), потенциально опасные объекты — с частотой 1,06 на 1 км (или 1 объект на 0,95 км), труднодоступные и не имеющие органолептических признаков объекты — с частотой 0,13 на 1 км (или 1 объект на 7,85 км). Подытоживая данную статистику, можно сделать вывод о том, что хотя 100-метровая ВОЗ и имеет особый правовой статус, она, тем не менее, весьма интенсивно используется для хозяйственных нужд, в подавляющем большинстве случаев не имеющих отношения к рациональному использованию и охране вод.

Ввиду проведения повторного обследования есть возможность проследить динамику изменений за год. Так, состояние восьми потенциально опасных объектов улучшилось (обычно это связано с завершением строительства или уборкой неорганизованных свалок). Сравнительная оценка плотности точек позволяет сделать вывод, что в пределах рассмотренной территории наиболее загружена ВОЗ на левом берегу р. Москва в районе Южного порта (маршрут № 2) и выше него (ближе к центру, маршрут № 1).

В ходе повторных изысканий впервые был описан только один опасный объект и два потенциально опасных (т.е. не обнаружено было в ходе первичного обследования менее 3 % источников опасности).

Выводы. 1. Впервые разработана и осуществлена программа общественного экологического контроля водоохранных зон Москвы, которая позволила вовлечь общественность в процедуру экологического регулирования, а также дополнить базу данных государственного экологического контроля.

2. Создана научно-методологическая база проведения экологического контроля, включающая в себя разработку форм контроля и картографирования.

3. Анализ данных за период с 2011 по 2013 г. показал, что в пределах ВОЗ ведется интенсивное строительство, и антропогенная нагрузка на открытые водотоки в ходе этой деятельности увеличивается.

4. Результаты общественного контроля активно используются Правительством Москвы для принятия управленческих решений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Евграфов, А.В. Опыт организации широкомасштабного экологического обследования рек Москвы [Текст] / А.В. Евграфов, А.В. Пуховский // Вестник / Учеб-

- но-методическое объединение по образованию в области природообустройства и водопользования. — М. : МГУП. — № 4. — С. 295–302.
2. Евграфов, А.В. Методические указания по проведению рекогносцировочного обследования рек Москвы [Текст] / А.В. Евграфов, А.В. Пуховский // Сборник учебных и учебно-методических материалов семинара дополнительного образования «Экология рек Москвы» / под ред. А.В. Пуховского. — М. : МГУП, 2012. — С. 15–17.

ЕВГРАФОВ Алексей Викторович, канд. техн. наук, доц.; E-mail: Evgrafov-aleksey@mail.ru

Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва

Получено 12.05.14

Evgrafov Alexey Victorovich, candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: Evgrafov-aleksey@mail.ru, Russian State Agrarian University — MTAU named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russia

PUBLIC ECOLOGICAL MONITORING OF WATER PROTECTION ZONES MOSCOW CITY

To obtain timely and reliable information on the environmental condition of the rivers of water protection zones of Moscow to a program of public environmental control. Proposed criterion evaluation scale objects of economic activity on the degree of danger, which would create a series of thematic maps and trace the dynamics of changes in danger of objects. The findings allow the executive authorities promptly schedule management decisions.

Key words: riparian zones of rivers, reconnaissance survey, public environmental control, environmental site assessment.

REFERENCES

1. Евграфов, А.В. Experience in organizing large-scale environmental survey of rivers in Moscow [Text] / А.В. Евграфов, А.В. Пуховский // Bulletin of the Methodological Association for Education in prirodoobustroy and properties of water: the magazine. — М. : MSUEE. — № 4. — Р. 295–302.
2. Евграфов, А.В. Methodical instructions on provedeniiyu reconnaissance survey of Moscow river [Text] / А.В. Евграфов, А.В. Пуховский // Collection of training and teaching materials additional education seminar «Environmental rivers Moscow» / ed. А.В. Пуховский. — М. : MSUEE, 2012. — Р. 15–17.

УДК 624.154

А.Е. САРГСЯН, В.С. ГЕРАЩЕНКО, К.С. БОРЧЕВ

ОБОСНОВАНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ РАЗРАБОТАННОЙ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ СВАЙНОГО ОСНОВАНИЯ СООРУЖЕНИЯ ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Обоснование достоверности разработанной объемной расчетной модели свайного основания сооружения выполняется методом сопоставительного анализа результатов расчетов с данными натурных наблюдений здания многофункционального комплекса «Меркурий Сити Тауэр», возведенного в Москве. Сходимость данных натурных наблюдений и результатов расчетов, полученных в настоящей работе, наглядно демонстрирует обоснованность разработанной пространственной модели свайных фундаментов с учетом эффекта взаимодействия с грунтовой средой.

Ключевые слова: объемная расчетная модель, свайный фундамент, ростверк, буронабивные сваи, крен, внутренние усилия, конструктивные элементы, сопоставительный анализ, многофункциональный комплекс, натурные наблюдения, здания, грунтовая среда, приведенные характеристики грунтов, геологическое строение, основание.

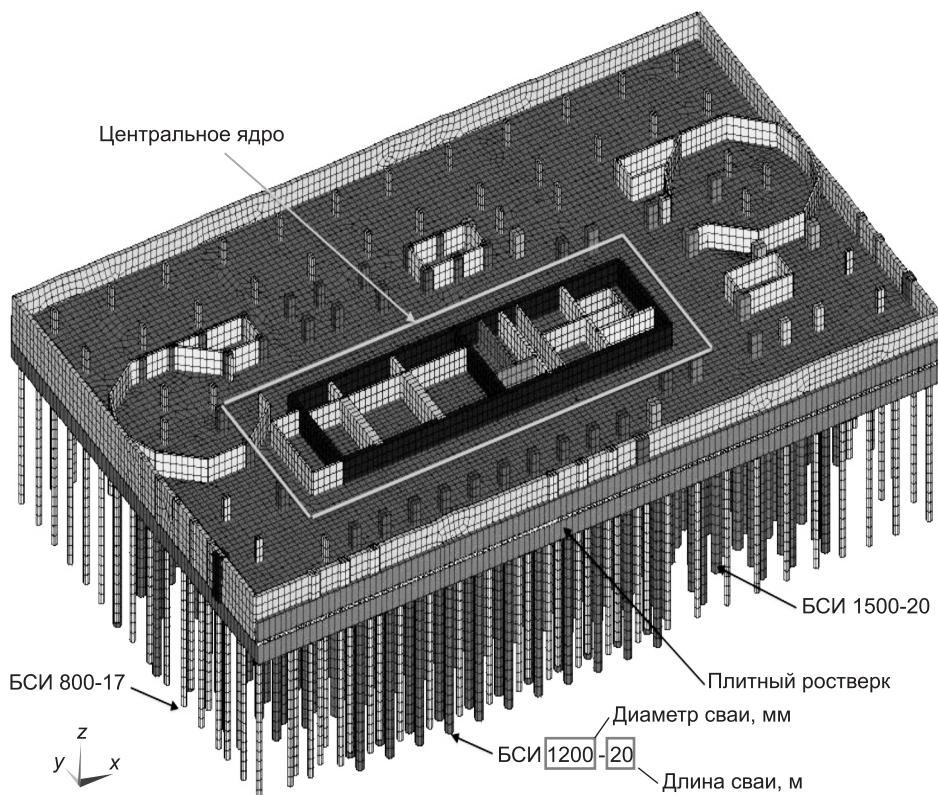
Обоснование достоверности разработанной объемной расчетной модели свайного основания сооружения [1, 2] выполняется методом сопоставительного анализа результатов расчетов с данными натурных наблюдений здания многофункционального комплекса «Меркурий Сити Тауэр» (МСТ), возведенного в Москве.

Для многофункционального комплекса МСТ реализован свайный фундамент из буронабивных свай марок БСИ 1500-20, БСИ 1200-20 и БСИ 800-17, объединенных плитным ростверком высотой 4,35 м и площадью 6450 м², при этом его площадь под центральным ядром составляет 635 м². Под центральным ядром и колоннами высотной части сваи в плане располагаются в виде сплошного свайного поля с шагом 2,2–5 м, вне высотной части — с шагом 4,4–8,2 м.

Устройство плитного ростверка выполняется по двум слоям железобетонной подготовки, каждый толщиной 100 мм, между которыми устраивается гидроизоляция. Железобетонная подготовка укладывается на двухслойную подготовку основания после выполнения всех буронабивных свай. Железобетонная фундаментная плита (ростверк) изготавливается из бетона класса В40. Железобетонная подготовка выполняется из бетона класса В25.

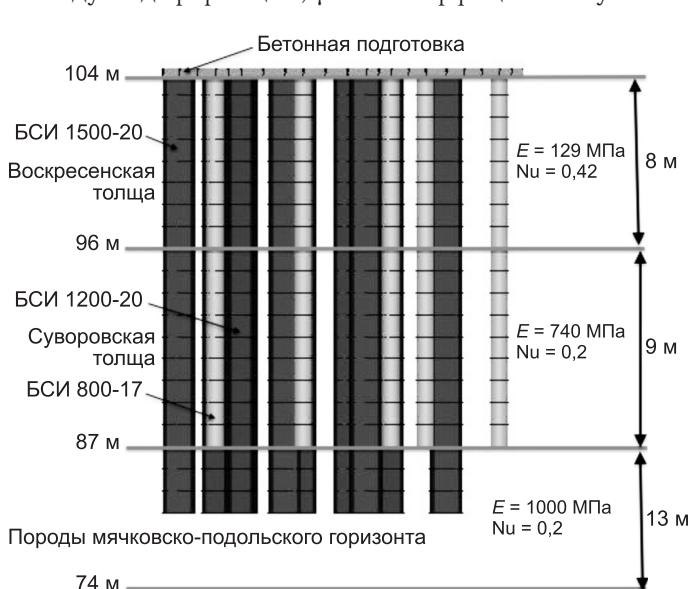
Общий вид расчетной модели фундаментных конструкций здания «Меркурий Сити Тауэр» представлен на рис. 1.

Схема расположения свайного поля, состоящего из различных типов свай БСИ 1500-20, БСИ 1200-20, БСИ 800-17 в геологическом строении основания здания МСТ, приведена на рис. 2. В маркировках различных



типов свай первая цифра указывает диаметр сваи в миллиметрах, вторая — длину сваи в метрах.

Приведенные расчетные деформационные характеристики грунтовой среды (E — модуль деформации, μ — коэффициент Пуассона) на боковой



вых поверхностях и подошвах различных типов свай с учетом схемы их расположения в геологической структуре основания (см. рис. 2) составляют:

1. Для свай БСИ 800-17:

— на боковых поверхностях свай

$$E_1 = \frac{8 \cdot 129 + 740 \cdot 9}{17} = 452,5 \text{ МПа}; \quad \mu_1 = \frac{8 \cdot 0,42 + 9 \cdot 0,2}{17} = 0,3;$$

— на подошве свай $E_2 = 1000$ МПа, $\mu_2 = 0,2$.

2. Для свай БСИ 1200-20, БСИ 1500-20:

— на боковых поверхностях свай

$$E_1 = \frac{8 \cdot 129 + 740 \cdot 9 + 1000 \cdot 3}{20} = 534,6 \text{ МПа};$$

$$\mu_1 = \frac{8 \cdot 0,42 + 9 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,2}{20} = 0,288;$$

— на подошве свай $E_2 = 1000$ МПа, $\mu_2 = 0,2$.

Согласно рекомендациям [3], определим приведенные деформационные характеристики грунтов основания фундаментной плиты шириной $B = 64$ м:

$$E_1 = \frac{8 \cdot 129 + 740 \cdot 9 + 1000 \cdot 47}{64} = 855 \text{ МПа};$$

$$\mu_1 = \frac{8 \cdot 0,42 + 9 \cdot 0,2 + 47 \cdot 0,2}{64} = 0,228.$$

Для учета эффекта взаимодействия ростверка и свайного поля с грунтовой средой применена механическая модель основания, разработанная в работах [1, 2].

В узлах расчетной модели на контактных поверхностях свай и ростверка с грунтовой средой создаются по направлениям декартовой системы координат по три пары параллельно включенных пружин и демпферов. С одной стороны пара закреплена в узле расчетной модели фундаментных конструкций сооружения, а с другой — защемлена.

Параметры статической механической модели основания свайного фундамента определены по [1, 2, 4].

При формировании результирующей реакции грунтовой среды на контактных поверхностях ростверка и свай исходили из следующих предположений:

— при горизонтальном перемещении на подошве ростверка грунты испытывают чистый сдвиг;

— при вертикальном перемещении на подошве ростверка грунты испытывают сжатие;

— при возникновении растягивающих напряжений на боковой поверхности свай нарушаются условие полного прилипания исходя из условия, что грунт на растяжение не работает;

— при вертикальном перемещении свай по всей боковой поверхности грунты испытывают чистый сдвиг, а на подошве свай — сжатие;

Таблица 1. Выражения для определения эквивалентных интегральных статических жесткостей основания при перемещении ростверка прямоугольной формы в плане

Вид перемещения	Интегральная жесткость
Горизонтальное по оси x	$k_x = \frac{31,1(1-\mu_1)G_{s,1}\sqrt{A}}{\sqrt{\pi}(7-8\mu_1)}$
Горизонтальное по оси y	$k_y = \frac{31,1(1-\mu_1)G_{s,1}\sqrt{A}}{\sqrt{\pi}(7-8\mu_1)}$
Вертикальное по оси z	$k_z = \frac{4G_{s,1}\sqrt{A}}{\sqrt{\pi}(1-\mu_1)}$

ляются по выражениям, представленным в табл. 1 [1, 2, 4].

В табл. 1 введены следующие обозначения:

μ_1 — осредненное значение коэффициента Пуассона поверхности слоя грунтовой среды на уровне подошвы ростверка;

$G_{s,1}$ — осредненное значение модуля сдвига поверхности слоя грунтовой среды на уровне подошвы ростверка;

$A = L_x L_y$ — площадь подошвы ростверка прямоугольной формы в плане;

$L_x, L_y (L_x \geq L_y)$ — длина и ширина ростверка на плане соответственно по координатным осям x и y .

Эпюры контактных напряжений на боковой поверхности свай при перемещении по направлению координатных осей x, y, z в зависимости от формы поперечного сечения свай представлены на рис. 3.

Расчетные параметры интегральных статических жесткостей грунтовой среды на контактной боковой поверхности и на подошве свай определяются выражениями из табл. 2.

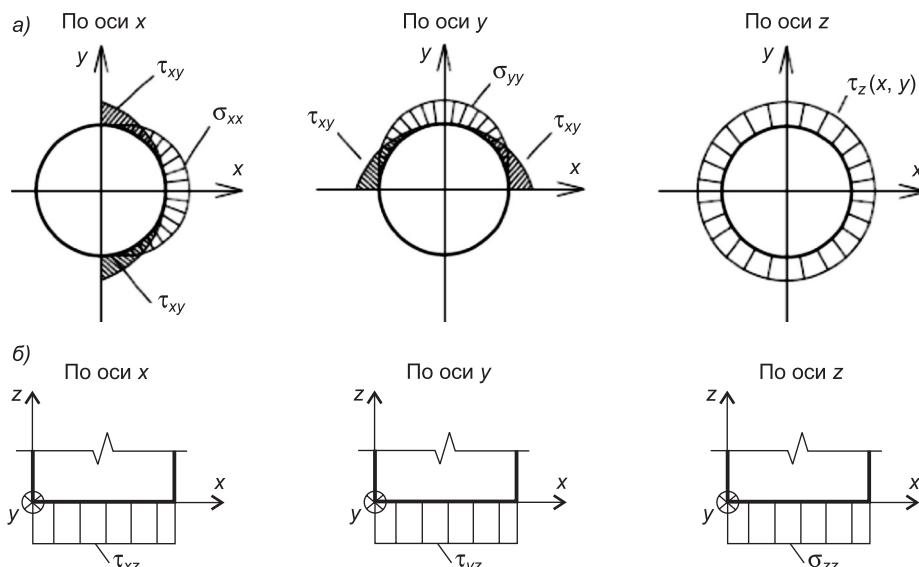


Рис. 3. Характер распределения контактных напряжений на боковой поверхности (а) и подошве (б) свай с круглым поперечным сечением при их перемещении в грунтовой среде по направлениям координатных осей x, y, z

— при горизонтальном перемещении свай на боковых поверхностях происходит чистый сдвиг грунтов. В передней стенке — сжатие, в задней стенке — отрыв грунта от поверхности стенки свай, на подошве грунты испытывают чистый сдвиг.

Расчетные параметры интегральных жесткостей грунтовой среды на контактной поверхности подошвы ростверка определяются

Таблица 2. Выражения для определения интегральных статических жесткостей грунтовой среды на контактной поверхности при общем характере перемещений свай

Направление перемещения свай	Интегральная жесткость грунтовой среды	
	на боковой поверхности свай	на подошве свай
Горизонтальное по оси x	$k_x = \frac{31,1(1-\mu)G_s\sqrt{A_{1x}}}{\sqrt{\pi}(7-8\mu)R_s} + \frac{4G_s\sqrt{A_{2x}}}{\sqrt{\pi}(1-\mu)R_s}$	$k_x = \frac{31,1(1-\mu_{sL})G_{sL}\sqrt{A_L}}{\sqrt{\pi}(7-8\mu_{sL})R_s}$
Горизонтальное по оси y	$k_y = \frac{31,1(1-\mu)G_s\sqrt{A_{1y}}}{\sqrt{\pi}(7-8\mu)R_s} + \frac{4G_s\sqrt{A_{2y}}}{\sqrt{\pi}(1-\mu)R_s}$	$k_y = \frac{31,1(1-\mu_{sL})G_{sL}\sqrt{A_L}}{\sqrt{\pi}(7-8\mu_{sL})R_s}$
Вертикальное по оси z	$k_z = \frac{31,1(1-\mu)G_s\sqrt{A_L}}{\sqrt{\pi}(7-8\mu)R_s}$	$k_z = \frac{4G_{sL}\sqrt{A_L}}{\sqrt{\pi}(1-\mu_{sL})R_s}$

В табл. 2 введены следующие обозначения в зависимости от геометрической формы поперечных сечений свай:

A_{1x} — площадь контактной боковой поверхности свай с грунтовой средой, испытывающей сдвиг при перемещении свай по направлению оси x ;

A_{2x} — площадь контактной боковой поверхности свай с грунтовой средой, испытывающей сжатие при перемещении свай по направлению оси x ;

A_{1y} — площадь контактной боковой поверхности свай с грунтовой средой, испытывающей сдвиг при перемещении свай по направлению оси y ;

A_{2y} — площадь контактной боковой поверхности свай с грунтовой средой, испытывающей сжатие при перемещении свай по направлению оси y ;

A_z — площадь контактной боковой поверхности свай с грунтовой средой или площадь боковой поверхности свай, испытывающей сдвиг при перемещении свай в вертикальном направлении;

A_L — площадь подошвы свай.

Для свай с поперечным сечением в форме сплошного круга имеем:

$$A_{1x} = \frac{1}{6}\pi d h_c; A_{2x} = \frac{1}{6}\pi d h_c; A_{1y} = \frac{1}{6}\pi d h_c; A_{2y} = \frac{1}{6}\pi d h_c;$$

$$A_z = \pi d h_c; A_L = \frac{1}{4}\pi d^2,$$

где d — диаметр поперечного сечения свай;

h_c — высота свай;

R_s — корректирующий коэффициент, учитывающий эффекты взаимодействия свай в составе свайного куста [1–3].

В табл. 3 и 4 представлены расчетные значения интегральных статических жесткостей грунтовой среды на контактных поверхностях ростверка и свай различного типа.

Таблица 3. Расчетные значения интегральных статических жесткостей грунтовой среды на подошве ростверка

k_x , кН/м	k_y , кН/м	k_z , кН/м
$6,38E+10$	$6,38E+10$	$8,22E+10$

Таблица 4. Расчетные значения интегральных статических жесткостей грунтовой среды на наружной поверхности свай различного типа

Тип свай	На боковой поверхности сваи			На подошве сваи		
	k_x , кН/м	k_y , кН/м	k_z , кН/м	k_x , кН/м	k_y , кН/м	k_z , кН/м
БСИ 800-17	$6,66E+11$	$6,66E+11$	$1,79E+11$	$4,53E+10$	$4,53E+10$	$4,92E+10$
БСИ 1200-20	$5,19E+11$	$5,19E+11$	$1,30E+11$	$3,11E+10$	$3,11E+10$	$3,38E+10$
БСИ 1500-20	$6,53E+11$	$6,53E+11$	$1,63E+11$	$4,38E+10$	$4,38E+10$	$4,75E+10$

Расчетная модель сформирована в соответствии с заданными конструктивными решениями здания. Переход от конструктивной схемы к конечно-элементной модели осуществляется путем замены реальных конструкций расчетными элементами.

Для создания расчетной модели системы «сооружение–основание» применяются пружинно-демпферные, стержневые, оболочечные и контактные элементы.

Общий вид расчетной модели здания представлен на рис. 4.

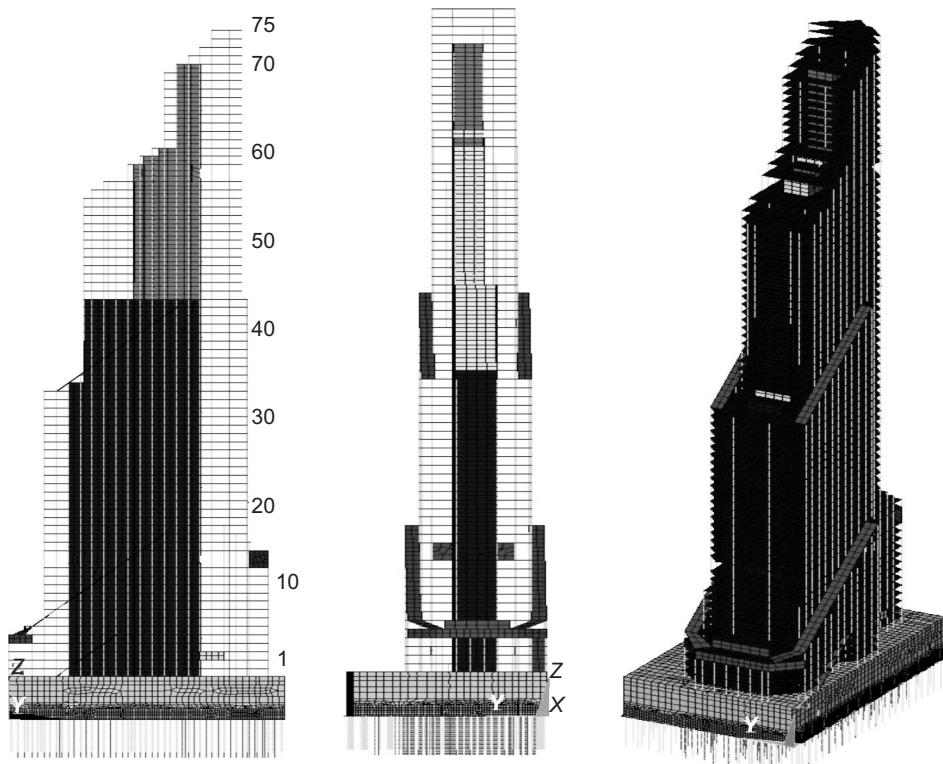


Рис. 4. Внешний вид расчетной модели здания

Сопоставление значений вертикальных осадок ростверка сооружения, установленных по результатам натурных наблюдений, по расчетам НИИОСП и настоящей работы, приведено в табл. 5.

Значения вертикальных перемещений фундаментной плиты — ростверка (см. табл. 5) наглядно демонстрируют хорошую сходимость между результатами натурных наблюдений и расчетов, полученных в настоящей работе. При этом между расчетными данными НИИОСП и результатами

Таблица 5. Сопоставление значений вертикальных осадок ростверка сооружения, установленных по результатам натурных наблюдений и расчету

№ геодезической марки	U_z на 12-м этапе расчета, мм	U_z по данным наблюдений, мм	U_z по расчету НИИОСП, мм
79	-10,36	-12,6	—
37	-5,11	-4,98	—
72	-3,75	-5,47	-19,4
55	-4,16	-2,9	—
51	-4,40	-3,85	—
44	-5,75	-6,62	—
82	-7,77	-6,5	—
46	-5,66	-9,2	—
76	-9,06	-10,0	—
39	-8,41	-8,6	—
97	-7,02	-9,6	-17,6
74	-4,30	-3,6	—
47	-4,64	-5,4	-19,7
45	-4,34	-3,9	—
38	-6,64	-6,9	—
100	-13,39	-15,1	-26,2
85	-13,89	-14,3	26,9
108	-11,08	-10,8	-25,0
87	-12,91	-14,2	-24,8
103	-12,88	-14,8	-15,6
102	-12,60	-13,7	-15,6
89	-12,74	-14,4	-24,8
95	-15,10	—	—
94	-15,22	—	—
67	-3,13	-3,5	—
1	-2,43	-0,3	—
12	-3,13	-1,0	—
56	-3,77	-1,6	—
70	-6,38	-3,7	—
3	-2,79	-2,9	—
65	-4,59	-8,5	—
6	-3,04	-3,9	—
51	-5,32	-3,8	—
9	-3,02	-3,1	—
58	-4,07	-4,8	—
99	-10,82	-10,3	-23,9
96	-10,90	-13,2	-20,8
93	-14,21	—	-19,1
92	-13,38	—	—
91	-11,67	—	—
83	-11,70	-11,5	-24,2
84	-12,37	-13,1	-25,4
49	-4,56	-4,3	—
36	-3,80	-2,0	—
25	-3,48	-1,4	—
43	-8,05	-8,1	—

натурных наблюдений, а также данными настоящей работы имеется существенное расхождение.

В табл. 6 представлены значения действующих продольных усилий в сваях по результатам расчетов и данным натурных наблюдений. Значения продольных усилий, возникающих в поперечных сечениях свай, наглядно демонстрируют хорошую сходимость между результатами натурных наблюдений и результатами расчетов, полученными в настоящей работе. При этом между расчетными данными НИИОСП, результатами натурных наблюдений и данными настоящей работы имеется существенное расхождение.

В табл. 7 даны суммарные опорные реакции, возникающие на подошве фундаментной плиты и контактных поверхностях свай при 12 этапах загружения. Результаты наглядно демонстрируют, что в среднем 84 %

Таблица 6. Сопоставление действующих продольных усилий в сваях по результатам расчетов и данным мониторинга

№ свая	№ элемента	По результатам расчетов настоящей работы N_z , кН	По расчетным данным НИИОСП N_z , кН	По данным натурных наблюдений N_z , кН
368 (15)	3392	-3200		—
368 (5)	3402	-6060	-15220	—
240 (15)	3912	-3280		-4980
240 (5)	3922	-6220	-15850	-6480
336 (15)	4332	-5770		-5570
336 (5)	4342	-11110	-20610	-13050
270 (15)	4412	-5640		-5020
270 (5)	4422	-10860	-21210	—
234 (15)	5372	-5140		—
234 (5)	5382	-9880	-21770	—
257 (15)	5572	-4650		-6990
257 (5)	5582	-8910	-19810	-9380
353 (15)	5712	-4760		—
353 (5)	5722	-9130	-20110	—
262 (15)	5912	-5110		—
262 (5)	5922	-9820	-20730	—
328 (15)	6072	-5210		-6740
328 (5)	6082	-10020	-21070	—
285 (15)	6412	-6010		—
285 (5)	6422	-11570	-22290	—
318 (15)	6552	-6070		—
318 (5)	6562	-11700	-22320	—
282 (15)	6872	-6450		—
282 (5)	6882	-12440	-23460	—
315 (15)	6952	-6480		-5360
315 (5)	6962	-12510	-23310	-9480
362 (15)	7012	-5510		-6600
362 (5)	7022	-10590	-22060	-7380

Обоснование достоверности разработанной расчетной модели...

Таблица 7. Суммарные опорные реакции, возникающие на подошве ростверка и контактных поверхностях свай при 12 этапах загружения

№ загруженя	R1, Н	R2, Н	Доля суммарной реакции, возникающей на контактных поверхностях свай $R1*100/(R1+R2), \%$	Доля суммарной реакции, возникающей на подошве ростверка $R2*100/(R1+R2), \%$
1	$8,10E+08$	$1,60E+08$	84	16
2	$1,30E+09$	$2,80E+08$	82	18
3	$1,50E+09$	$3,10E+08$	83	17
4	$1,70E+09$	$3,40E+08$	83	17
5	$1,90E+09$	$3,70E+08$	84	16
6	$2,10E+09$	$3,90E+08$	84	16
7	$2,30E+09$	$4,10E+08$	85	15
8	$2,40E+09$	$4,30E+08$	85	15
9	$2,80E+09$	$4,70E+08$	86	14
10	$3,00E+09$	$5,00E+08$	86	14
11	$3,10E+09$	$5,20E+08$	86	14
12	$3,30E+09$	$5,30E+08$	86	14

нагрузок от собственного веса воспринимают сваи, остальные 16 % передаются на грунт основания через подошву ростверка.

Сходимость результатов натурных наблюдений и расчетов, полученных в настоящей работе, представленных в табл. 5–7, наглядно демонстрируют обоснованность модели основания, разработанной в работах [1, 2].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Саргсян, А.Е. Динамика и сейсмостойкость сооружений атомных станций [Текст] / А.Е. Саргсян. — М.; Саров : РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2013. — 550 с.
2. Саргсян, А.Е. Разработка статической и динамической модели свайных фундаментов с учетом эффекта их взаимодействия с грунтовой средой [Текст] / А.Е. Саргсян, В.С. Геращенко // Вестн. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. — 2010. — № 2.
3. СП 50-102-2003. Проектирование и устройство свайных фундаментов [Текст]. — М., 2004.
4. МР 1.5.2.05.999.0026–2011. Нормы проектирования оснований сооружений атомных станций [Текст]. — М., 2011.

*САРГСЯН Акоп Егишович, д-р техн. наук, проф., акад. МАИ при ООН
ОАО «Атомэнергопроект», г. Москва
ГЕРАЩЕНКО Виталий Сергеевич, вед. инж.
ОАО «Атомэнергопроект», г. Москва
БОРЧЕВ Кирилл Сергеевич, инж.
Московский государственный строительный университет*

Получено после доработки 05.05.14

Sargsian Akop Egishovich, doctor of technical sciences, professor, Academician of IIAUN, JSC «Atomenergoprojekt», Moscow, Russia
Geraschenko Vitaliy Sergeevich, head engineer, JSC «Atomenergoprojekt», Moscow, Russia

Borchev Kirill Sergeevich, engineer, Moscow State University of Civil Engineering,
Russia

JUSTIFICATION FOR RELIABILITY OF 3D-CALCULATION MODEL OF PILE FOUNDATION FOR THE STRUCTURE OF IN-SITU OBSERVATIONS

Justification for reliability of 3D-calculation model of pile foundation for the structure is performed by a comparative analysis of simulation results with in-situ observations for the multipurpose complex of «Mercury City Tower» build in Moscow. Convergence of the field data of the in-situ observations and the results of analysis obtained in the present study clearly demonstrated the validity of the developed pile foundation spatial model taking into account the effect of soil-structure interaction.

Key words: 3D model, pile foundation, raft foundation, bored piles, settlement, roll, section forces, structure elements, comparative analysis, in-situ observations, constrictions, soil, reduced parameters of soil, geological properties, foundation.

REFERENCES

1. Sargsian, A.E. Dynamic and seismic stability of the NPP structures [Text] / A.E. Sargsian. — M.; Sarov : RFNC-VNIIEF, 2013. — 550 p.
 2. Sargsian, A.E. Development of static and dynamic model of pile foundation taking into account the effect of soil-structure interaction [Text] / A.E. Sargsian, V.S. Geraschenko // The investigations for structural analysis, V.A. Kucherenko institute herald. — 2010. — N 2.
 3. SP 50-102-2003. Structural design and arrangement of pile foundations [Text]. — M., 2004.
 4. MR 1.5.2.05.999.0026-2011. Standard of design for NPP structures foundations [Text]. — M., 2011.
-

ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ РУКОПИСИ¹

1. К рукописи, представляемой в редакцию на русском языке, необходимо приложить:
— сопроводительное письмо руководства организации, откуда исходит рукопись;

к сопроводительному письму должна быть приложена гарантия оплаты публикации статьи² за подписью автора или руководителя представляющей статью организацией. Плата за публикацию статей аспирантов не взимается. Гарантийное письмо не требуется, если статья представляется организацией, осуществляющей целевые взносы на издание нашего журнала;

— рекомендацию соответствующей кафедры вуза (заверенную выписку из протокола заседания кафедры);

— экспертное заключение о возможности опубликования, оформленное в организации, откуда исходит рукопись;

— разрешение Роспатента на открытую публикацию материалов по заявке на изобретение.

2. Рукопись должна готовиться на компьютере в программе Microsoft Word и представляться в редакцию распечатанной в двух экземплярах, с приложением ее записи на CD (3", 5").

Текст рукописи набирают шрифтом Times New Roman Cyr размером 14 пт. с межстрочным интервалом 1,5. Объем рукописи — до 10 страниц. Обязательна нумерация страниц.

3. Порядок оформления статьи (см. макет статьи на Internet-сайте журнала):

— индекс УДК;

— инициалы, фамилии авторов;

— название статьи;

— аннотация (объемом до 0,3 страницы текста);

— ключевые слова;

— текст статьи;

— библиографический список не более четырех ссылок (при большем количестве их следует оформлять по ГОСТ Р 7.0.5–2008);

— сведения об авторах: **фамилии, имена, отчества (полностью), ученые степени, звания** (звания в негосударственных академиях наук и почетные звания не указывать); наименование учреждений, в которых работают авторы, на русском и **английском языках**;

— почтовые адреса, телефоны и e-mail авторов;

— название статьи на английском языке;

— аннотация на английском языке;

— ключевые слова на английском языке;

— библиографический список на английском языке.

4. На полях рукописи указываются места рисунков и таблиц (вставлять их в текст не нужно — это делается при верстке).

Статья должна быть тщательно отредактирована и подписана всеми авторами (с указанием даты отправки статьи).

5. Иллюстрации представляются в редакцию в виде файлов, созданных в программах CorelDraw или Microsoft Word, записанных с расширением *.cdr (предпочтительно) или *.doc, фотографий — TIFF или JPEG. Надписи и цифры набирать шрифтом Arial. Линии чертежа — не тоньше 1 пт. Иллюстраций, в том числе фотографий, должны быть черно-белыми с хорошей проработкой деталей.

Рисунки должны быть выполнены так, чтобы их можно было отредактировать (внести изменения, исправления, т.е. изменить шрифт, исправить возможные орфографические ошибки).

Иллюстрации должны быть распечатаны в двух экземплярах, с подписями к ним. Размер иллюстрации не должен превышать 20×30 см, их общее число, как правило, не более 4.

6. Таблицы печатаются каждая на отдельном листе. Все наименования в них даются полностью, без сокращения слов.

7. Формулы следует набирать на компьютере шрифтом Times New Roman размером 14 пт. Русские и греческие буквы и индексы, а также цифры, аббревиатуры и стандартные функции (Re, cos и др.) набираются прямым шрифтом. Латинские буквы набирать курсивом. Во избежание смешения сходных изображений прописных и строчных букв (*V* и *v*, *S* и *s*, *O* и *o*, *K* и *k* и др.), а также трудноразличимых букв и символов: *l*, *e* и *1* (цифра), *n* и *p*, *I* и *J* и т.п.) пояснения в необходимых случаях выполняются простым карандашом на полях. В статье должен быть необходимый минимум формул. Все второстепенные и промежуточные математические преобразования выносятся в приложение к статье (для рецензента).

¹ С дополнениями в соответствии с требованиями ВАК (выделены п/ж курсивом).

² На 2014 г. — из расчета 800 р. за 1 журнальную страницу.

(Окончание правил)

8. Следует применять физические величины, обозначения и единицы измерения в системе СИ(СИ).

9. В библиографический список включаются только те работы, которые опубликованы в печати, составленные в соответствии с ГОСТ 7.80–2000, ГОСТ 7.1–03.

Примеры оформления можно найти на Internet-сайте НГАСУ (Сибстрин) по адресу www.sibstrin.ru и www.izvuzstr.sibstrin.ru

10. Если статья была или будет направлена в другое издание, или же была ранее опубликована, необходимо обязательно сообщить об этом редакции. Материалы уже публиковавшихся работ к рассмотрению не принимаются.

11. Рецензентов для статей редакция назначает по своему усмотрению. При доработке статьи после рецензии на первой странице указываются ее редакционный номер, число, месяц, год и пометка «рукопись после доработки». Доработанную статью необходимо присыпать в двух экземплярах с приложением ее записи в электронном виде. К доработанной рукописи обязательно прикладывать ответы на все замечания рецензента. Датой поступления статьи считается получение редакцией ее окончательного текста.

12. Рукописи, не принятые к опубликованию, авторам не высылаются. Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения текста рукописей. *Корректура статей авторам не представляется.*

13. Гонорар за опубликованные статьи *не выплачивается*.

14. Рукописи, не удовлетворяющие изложенным требованиям, отправляются авторам на доработку, что замедляет срок их опубликования.

ПРИНИМАЕТСЯ ПОДПИСКА

на 1-е полугодие 2014 г.

НА НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

«СТРОИТЕЛЬСТВО»

Журнал имеет разделы

Строительные конструкции
Теория инженерных сооружений
Строительные материалы и изделия
Экономика и организация строительства
Автоматизация и технология строительного производства
Гидротехническое строительство
Санитарная техника

Строительство автомобильных дорог и мостов
Строительные и дорожные машины
Научные проблемы архитектуры и экологии
Научно-методический В лабораториях вузов
Внедрение научных достижений в производство
Научная информация

Каталожная цена за 6 месяцев — 2400 р.

Цена отдельного номера — 400 р.

Подписка принимается с любого месяца без ограничения всеми агентствами
Роспечати и отделениями связи. Индекс 70377.

ББК 38
И 33
УДК 69

Научное издание

**Известия вузов
СТРОИТЕЛЬСТВО**

№ 6 (666) 2014

Научно-теоретический журнал

Редакторы: *С.М. Погудина, Н.И. Коновалова*
Технический редактор *Н.М. Макаренко*
Компьютерная верстка *Р.Г. Усова*
Корректор *Г.И. Шведкина*