

**Международный
научно-технический журнал****International
Science & Technique Journal****Серия 1. Строительство**
Серия 6. Экономика промышленности**Series 1. Civil and Industrial Engineering**
Series 6. Economy in Industry

Издается с января 2002 года

Published since January 2002

Периодичность издания – один раз в два месяца

Publication frequency – bi-monthly

УчредительБелорусский национальный
технический университет**Founder**Belarusian National
Technical University**Главный редактор**

Борис Михайлович Хрусталеv

Editor-in-Chief

Boris M. Khroustalev

Редакционная коллегия

А. С. Калиниченко (*заместитель главного редактора*),
В. В. Бабицкий, В. Г. Баштовой, А. В. Белый, В. П. Бойков,
С. В. Босаков, Ю. В. Василевич, О. Г. Девойно,
К. В. Доброго, П. И. Дячек, М. З. Згуровский (*Украина*),
Р. Б. Ивуть, М. Г. Киселев, В. М. Константинов, Я. Н. Ковалев,
В. В. Козловский, Н. В. Кулешов, С. Н. Леонович,
С. А. Маскевич, Э. И. Михневич,
Нгуен Тху Нга (*Вьетнам*), М. Опеляк (*Польша*),
О. Г. Пенязьков, Г. А. Потаев, О. П. Реут, Ф. А. Романюк,
И. И. Сергей, В. Л. Соломахо, С. А. Чижик, А. Н. Чичко,
В. К. Шелег, Й. Эберхардштайнер (*Австрия*),
Б. А. Якимович (*Россия*)

Editorial Board

A. S. Kalinichenko (*Deputy Editor-in-Chief*),
V. V. Babitsky, V. G. Bashtovoi, A. V. Belyi, V. P. Boikov,
S. V. Bosakov, Yu. V. Vasilevich, O. G. Devoyno,
K. V. Dobrego, P. I. Diachek, M. Z. Zgurovsky (*Ukraine*),
R. B. Ivut, M. G. Kiselev, V. M. Konstantinov, Ya. N. Kovalev,
V. V. Kozlovsky, N. V. Kuleshov, S. N. Leonovich,
S. A. Maskevich, E. I. Mikhnevich,
Nguyen Thuy Nga (*Vietnam*), M. Opelyak (*Poland*),
O. G. Peniazkov, G. A. Potaev, O. P. Reut, F. A. Romaniuk,
I. I. Sergei, V. L. Solomakho, S. A. Chizhik, A. N. Chichko,
V. K. Sheleg, J. Eberhardsteiner (*Austria*),
B. A. Yakimovich (*Russia*)

Журнал включен в базы данных

Web of Science Core Collection; Emerging Sources Citation Index (ESCI);
Directory of Open Access Journals (DOAJ)

The Journal is included in the following databases

Web of Science Core Collection; Emerging Sources Citation Index (ESCI);
Directory of Open Access Journals (DOAJ)**СОДЕРЖАНИЕ****Строительство**

Пшембаев М. К., Ковалев Я. Н., Шевчук Л. И. Напряжения в цементно-бетонном покрытии от термического удара	87
Черноиван В. Н., Леонович С. Н., Черноиван Н. В. Эффективные технологии производства работ по ликвидации неэксплуатируемых производственных объектов	95
Борухова Л. В., Шибек А. С. Проектирование конструктивных солнцезащитных устройств	107
Передерей В. К. Строительный самодвижущийся пневмопробойник со стопорным механизмом ...	115
Яглов В. Н., Ковалев Я. Н., Романюк В. Н., Таболитч А. В., Иванов Е. Н. К вопросу применения материалов на основе дисперсных гидросиликатов кальция при устройстве защитных покрытий местных автомобильных дорог	122

CONTENTS**Civil and Industrial Engineering**

Pshembaev M. K., Kovalev Ya. N., Shevchuk L. I. Stresses in Cement-Concrete Pavement Surfacing Caused by Thermal Shock	87
Chernoivan V. N., Leonovich S. N., Chernoivan N. V. High Performance Technologies for Liquidation of Non-Operational Production Facilities	95
Borukhava L. V., Shybeka A. S. Designing of Constructive Shading Devices	107
Perederey V. K. Construction Self-Propelled Pneumopunchers with Locking Mechanism	115
Yaglov V. N., Kovalev Ya. N., Romaniuk V. N., Tabolich A. V., Ivanov Ye. N. On Application of Materials Based on Disperse Hydrated Calcium Silicate for Protective Layer of Local Automobile Roads	122

Содержание

Фам Нгок Кьен

Критерии оптимизации параметров
водохозяйственного комплекса
в бассейнах малых рек
предгорных районов Вьетнама 126

Михайлов В. И., Зейтц В. Э., Кононович С. И.,

Чиберкус Ю. Н., Искрицкая А. О.

Экспериментальные измерения объемов
подводных отложений хвостов
и жидких промышленных отходов в накопителе
на основе эхолокации и GPS-систем
в ОАО «Беларуськалий» 131

Матвиенко А. А.

Сравнение расчетных и наблюдаемых
сейсмических ускорений
в каменно-земляной плотине Днестровской ГЭС-1
при проведении экспериментальных взрывов ... 139

Экономика промышленности

Сакович В. А., Бровка Г. М.

Инновационная безопасность:
основные понятия, сущность 144

Жуковский И. В., Гедранович А. Б.

Межстрановый анализ эффективности
инновационной деятельности на основе
метода оболочечного анализа данных
среди государств с развитой
и развивающейся экономиками,
включая Республику Беларусь 154

Рудяков В. А.

Влияние фактора неопределенности
на развитие экономического кризиса в России ... 164

Pham Ngoc Kien

Criteria for Optimizing Parameters
of Water Resources System
in Basins of Small Rivers
in Submontane Regions of Vietnam 126

Mikhailov V. I., Zeits V. E., Kononovich S. I.,

Chiberkus Yu. N., Iskritskaya A. O.

Experimental Measurements
of Tailing Underwater Sediments
and Liquid Industrial Wastes in Storage Tank
on the Basis of Echolocation and GPS-Systems
at JSC “Belaruskali” 131

Matvienko A. A.

Comparison of Calculated and Observed Seismic
Accelerations in Composite-Type Rock-Fill Dam
of the Dnestrovskaya Hydro-Electric Power Plant
during Experimental Explosions 139

Economy in Industry

Sakovich V. A., Brovka G. M.

Innovative Security:
Basic Concepts, Essence 144

Zhukovski I. V., Gedranovich A. B.

Inter-Country Efficiency Evaluation
in Innovation Activity on the Basis of Method
for Data Envelopment Analysis
among Countries with Developed
and Developing Economy,
Including the Republic of Belarus 154

Rudiyakov V. A.

Influence of Uncertainty Factor on Development
of Economic Crisis in Russia 164

Ответственный секретарь редакции

В. Н. Гурьянчик

Адрес редакции

Белорусский национальный технический университет
пр. Независимости, 65, корп. 2, комн. 327
220013, г. Минск, Республика Беларусь

Тел. +375 17 292-65-14

E-mail: sat@bntu.by

Executive Secretary of Editorial Staff

V. N. Guryanchyk

Address

Belarusian National Technical University
Nezavisimosty Avenue, 65, Building 2, Room 327
220013, Minsk, Republic of Belarus

Tel. +375 17 292-65-14

E-mail: sat@bntu.by

Перерегистрировано в Министерстве информации Республики Беларусь 19 декабря 2011 г.
Регистрационный номер 285

С 2002 г. издание выходило под названием «Вестник БНТУ»

ISSN 2227-1031. Подписные индексы 00662, 006622

Подписано в печать 22.03.2016. Формат бумаги 60×84 1/8. Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе.
Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 250 экз. Дата выхода в свет . Заказ № .

Отпечатано в БНТУ. Лицензия ЛП № 02330/74 от 03.03.2014.
220013, г. Минск, пр. Независимости, 65.

УДК 625.841

Напряжения в цементно-бетонном покрытии от термического удара

Канд. техн. наук М. К. Пшембаев¹⁾, докт. техн. наук, проф. Я. Н. Ковалев¹⁾,
канд. техн. наук, доц. Л. И. Шевчук¹⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2016
Belarusian National Technical University, 2016

Реферат. Среди различных воздействий на покрытие автомобильных дорог следует выделить так называемый термический удар. В зимний период эксплуатации дорожных покрытий на поверхности бетона образуется слой льда. Обычно для его удаления с поверхности дорожного покрытия применяется хлористый натрий, который понижает температуру замерзания воды и вызывает таяние льда при отрицательной температуре. Поэтому в бетоне, находящемся непосредственно под тающим слоем льда, резко снижается температура, что приводит к значительным напряжениям. Такое явление получило название термического удара (локальное значительное изменение температуры). Этот процесс недостаточно изучен, имеет практическую значимость для оценки прочности и долговечности цементно-бетонного покрытия и поэтому актуален. Целью исследований авторов являлись разработка математической модели и определение допустимых градиентов термического удара для цементно-бетонного дорожного покрытия. Для нахождения напряженно-деформированного состояния цементно-бетонных покрытий автомобильных дорог использовали конечно-разностный метод. Составлена компьютерная программа, позволяющая выполнять расчет дорожного покрытия при различных законах распределения температуры по его глубине. Получены закономерности распространения деформаций и напряжений в цементно-бетонном покрытии автомобильных дорог при термическом ударе. Установлен допустимый параметр распределения температур по толщине покрытия. При расчете использован критерий прочности, основанный на процессе образования и развития микротрещин в бетоне. Выявлено, что термический удар вызывает на поверхности цементно-бетонного покрытия значительные градиенты температур, приводящие к большим нормальным напряжениям в поверхностном слое бетона. Возможность появления микротрещин в дорожном покрытии определяется характеристиками прочности материала, условиями закрепления плиты и градиентом температур.

Ключевые слова: температура, градиент, напряжения, прочность, бетон, критерий, покрытие, автомобильная дорога, конечные разности, обледенение, граница, сплошность, микротрещины

Для цитирования: Пшембаев, М. К. Напряжения в цементно-бетонном покрытии от термического удара / М. К. Пшембаев, Я. Н. Ковалев, Л. И. Шевчук // *Наука и техника*. 2016. Т. 15, № 2. С. 87–94

Stresses in Cement-Concrete Pavement Surfacing Caused by Thermal Shock

M. K. Pshembaev¹⁾, Ya. N. Kovalev¹⁾, L. I. Shevchuk¹⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. It is necessary to mention specially so-called thermal shock among various impacts on highway surface. Ice layer is formed on a concrete surface during the winter period of pavement surfacing operation. Sodium chloride which lowers tem-

Адрес для переписки

Шевчук Леонид Иванович
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 150,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 265-97-28
ftk75@bntu.by

Address for correspondence

Shevchuk Leonid I.
Belarusian National Technical University
150 Nezavisimosty Ave.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 265-97-28
ftk75@bntu.by

perature of water-ice transition temperature and causes ice thawing at negative temperature is usually used to remove ice from the pavement surface. Consequently, temperature in the concrete laying immediately under a thawing ice layer is coming down with a run that leads to significant stresses. Such phenomenon is known as a thermal shock with a meaning of local significant change in temperature. This process is under investigation, it has practical importance for an estimation of strength and longevity of a cement-concrete pavement surfacing and consequently it is considered as rather topical issue. The purpose of investigations is to develop a mathematical model and determination of shock blow permissible gradients for a cement-concrete road covering. Finite difference method has been used in order to determine stressed and deformed condition of the cement-concrete pavement surfacing of highways. A computer program has been compiled and it permits to carry out calculation of a road covering at various laws of temperature distribution in its depth. Regularities in distribution of deformation and stresses in the cement-concrete pavement surfacing of highways at thermal shock have been obtained in the paper. A permissible parameter of temperature distribution in pavement surfacing thickness has been determined in the paper. A strength criterion based on the process of micro-crack formation and development in concrete has been used for making calculations. It has been established that the thermal shock causes significant temperature gradients on the cement-concrete surfacing that lead to rather large normal stresses in the concrete surface layer. The possibility of micro-crack formation in a road covering is determined with the help of such characteristics as material strength, conditions of plate anchoring and a temperature gradient.

Keywords: temperature, gradient, stresses, strength, concrete, criterion, surfacing, highway, finite differences, icing, border, continuity, micro-cracks

Forcitation: Pshembaev M. K., Kovalev Ya. N., Shevchuk L. I. (2016) Stresses in Cement-Concrete Pavement Surfacing Caused by Thermal Shock. *Science & Technique*. 15 (2), 87–94 (in Russian)

Введение

В процессе устройства, эксплуатации и ремонта дорожные одежды подвергаются различным воздействиям. Это механические нагрузки от потоков транспортных средств, изменение температуры, неравномерные осадки оснований, атмосферные осадки, механическая и химическая очистка дорог и пр. Наряду с этими воздействиями особое место занимают сезонные и суточные изменения температуры внешней среды, солнечная радиация, температурные изменения при очистке дорог от ледяных образований.

Одной из важнейших задач расчета температурных воздействий, оказываемых на цементно-бетонные дорожные покрытия, является обеспечение условий теплового режима, который был бы безопасным для эксплуатации покрытия. Если параметры режима превышают значения, предусмотренные расчетом, то покрытие теряет свои прочностные качества и несущую способность.

Температурные напряжения в цементно-бетонных покрытиях зависят от ряда факторов: характера распределения температур по сечению плиты; условий на контуре плиты (участок дорожного покрытия, ограниченный деформационными швами); напряжений от коробления плиты, если оно возможно; трения или сцепления с основанием. Однако для проектирования и устройства прочного, долговечного, экономически выгодного цементно-бетонного дорожного покрытия недостаточно иметь представление о его напряженном состоянии в зави-

симости от различных факторов, включая и температурное воздействие. Необходимо найти критерии, позволяющие установить напряженно-деформированное состояние бетона, при котором начинают образовываться микротрещины, являющиеся первопричиной начала разрушения.

Для получения достоверных результатов расчета бетонных и железобетонных конструкций, включая цементно-бетонные покрытия, следует использовать критерии, основанные на физических представлениях о процессе разрушения бетона. Этот вопрос исследовался многими учеными еще в прошлом веке [1–5].

В зимний период эксплуатации дорожных покрытий на поверхности бетона образуется слой льда. В слое бетона, находящегося под льдом, увеличивается содержание воды. Обычно для удаления льда с поверхности дорожного покрытия применяется хлористый натрий, который понижает температуру замерзания воды и вызывает таяние льда при отрицательной температуре. Так как таяние льда происходит в условиях эндотермического процесса, в бетоне на поверхности покрытия, находящегося непосредственно под тающим слоем льда, резко снижается температура. Такое явление получило название термического удара (локальное значительное изменение температуры). Из результатов испытаний следует, что в случае термического удара появляются значительные температурные градиенты на поверхностном слое дорожного покрытия.

Физические основы критерия прочности бетона

При сжатии материалов, имеющих различное сопротивление сжатию и растяжению (горные породы, бетон, чугун и др.), процесс разрушения носит более сложный характер. Некоторые принципиальные результаты, характеризующие этот вид разрушения, получены в исследованиях П. У. Бриджмена [6], А. А. Гвоздева [7], С. Д. Волкова [8, 9], О. Я. Берга [1, 4].

В опытах П. У. Бриджмен [6] обнаружил увеличение объема образцов из мрамора и талька. Как следует из результатов исследований, в первый период загрузки наблюдается уменьшение объема. Затем происходит резкое замедление скорости уменьшения объема и при дальнейшем повышении нагрузки – его увеличение. Это увеличение объема автор объяснил нарушением сплошности тела и появлением разрывов.

Теоретическое обоснование наблюдаемым фактам увеличения объема неоднородных материалов (бетон, горные породы и др.) при испытании на одноосное сжатие дано А. А. Гвоздевым [7]. Установлено, что при сжатии бетонного образца образуются микротрещины. Наиболее вероятное направление этих трещин совпадает с направлением действующего усилия. Появление начальных трещин ведет к дальнейшему нарушению структуры, сопровождающемуся кажущимся увеличением объема тела. Соединение микроскопических трещин приводит к появлению видимых трещин и в последующем – к быстрому разрушению.

Прежде всего был сделан вывод о том, что предел прочности не является критическим состоянием. Разрушение происходит постепенно за счет развития микротрещин. В 1953 г. С. Н. Журков и Б. Н. Нарзуллаев [10] обнаружили явление снижения прочности при выдержке нагрузки в условиях одноосного растяжения у самых разнообразных тел.

Если провести анализ продольных и поперечных деформаций, то оказывается, что теряют смысл такие константы, как модуль упругости и коэффициент Пуассона ν . При этом наблюдаются значения $\nu > 0,5$, что теоретически невозможно, так как это соответствовало бы увеличению объема тела при сжатии. Изме-

нение коэффициента ν и даваемое расчетом увеличение внешнего объема образца при испытании на сжатие бетона отмечались уже в исследованиях В. В. Михайлова [5], которые показали, что наблюдаемое увеличение объема бетона вытекает из предложенных им теорий строения бетона и его прочности.

Введено понятие о величине R_T , которая характеризует границу нарушения сплошности бетона за счет образования в нем микроразрушений. Эта граница является одной из важнейших особенностей материалов, имеющих различное сопротивление сжатию и растяжению, которая определяет его прочностные и деформативные свойства. Границу образования микротрещин при сжатии, соответствующую началу разрушения, следует рассматривать как важную характеристику бетона в дополнение к общепринятым константам – пределу прочности на сжатие $R_{пр}$ и сопротивлению отрыву R_p .

Постановка задачи и численная модель цементно-бетонного покрытия

Рассмотрим задачу о температурном воздействии на цементно-бетонное покрытие автомобильной дороги. Участок покрытия имеет прямоугольную форму в плане с размерами 4×6 м. Толщина покрытия принята 0,25 м. Проанализируем самый невыгодный случай. На проезжей части дороги в зимнее время года деформационные швы покрытия заполнены бетонной крошкой и льдом, что не позволяет им деформироваться. Поэтому на контуре участка дорожной одежды приняты граничные условия – горизонтальные и вертикальные перемещения равны нулю. Также принято условие примерзания дорожного покрытия к замерзшему основанию, что не допускает горизонтальных и вертикальных перемещений. Расчет выполнен методом конечных разностей. Решение получено методом простых итераций. Оси X и Y направлены горизонтально, а ось Z – по вертикали вверх (рис. 1). Слой (покрытие) считается однородным и изотропным.

Приняты следующие общие исходные данные: модуль упругости бетона класса C^{45}_{55} $E = 44$ ГПа; коэффициент Пуассона $\nu = 0,16$; коэффициент температурного расширения $\alpha = 14,5 \cdot 10^{-6}$ град. $^{-1}$; призмочная прочность бетона $R_{пр} = 45$ МПа; прочность бетона на растя-

жение $R_p = 2,7$ МПа; коэффициент снижения предела прочности (из табл. 1, [4]) $k_o = 0,74$.

Таблица 1

Коэффициент снижения предела прочности на сжатие
Decrease factor of ultimate compressive strength

R_{np} , МПа	20,0	30,0	35,0	45,0	60,0
R_p , МПа	1,5	2,0	2,2	2,7	3,1
$k_o = \frac{R_p}{R_{np}}$	0,63	0,69	0,72	0,74	0,80

Для расчета цементно-бетонного покрытия автомобильных дорог от действия температуры использовали прямоугольную конечно-разностную сетку с шагами узлов по направлениям осей координат X , Y , Z , соответственно равными Δx , Δy , Δz (рис. 1).

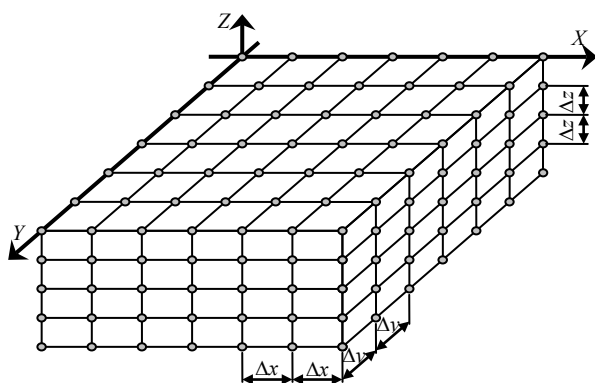


Рис. 1. Схема конечно-разностной сетки

Fig. 1. Scheme of finite-difference mesh

Для получения разрешающих конечно-разностных уравнений использовали математический аппарат линейной теории упругости. Полагали, что слой является квазиоднородным и изотропным.

Уравнение прочности для бетона дорожного покрытия

Бетон рассматривали как хрупкий материал с характерной особенностью разрушения – образованием микротрещин, предшествующих разрушению. Поэтому в качестве критерия прочности принимали напряжение, соответствующее образованию микротрещин R_T .

Если причиной образования микротрещин является растяжение ($\sigma_1 \geq 0$), то в качестве ориентира при оценке прочности следует принимать расчетное сопротивление бетона на растяжение (отрыв) R_p , а эквивалентное напряжение – равным геометрической сумме главных

напряжений. Если причина образования трещин – сжимающие напряжения ($\sigma_1 < 0$), то эквивалентным напряжением также является геометрическая сумма всех напряжений, а оценка прочности выполняется сравнением с призмочной прочностью бетона, сниженной на коэффициент k_o . Условие прочности принимает вид

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2} = \begin{cases} R_p, & \text{при } \sigma_1 \geq 0; \\ k_o R_{np}, & \text{при } \sigma_1 < 0, \end{cases} \quad (1)$$

где R_p , R_{np} – расчетное сопротивление (прочность) бетона на растяжение (отрыв) и призмочная прочность бетона (прочность на сжатие); k_o – коэффициент, выражающий отношение напряжения образования микротрещин к расчетному сопротивлению на сжатие (призмочной прочности).

Коэффициент k_o устанавливали испытанием бетонных образцов [4]. Значения коэффициента k_o приведены в табл. 1.

Оценка напряженно-деформированного состояния бетона при термическом ударе

Для оценки напряженно-деформированного состояния дорожного покрытия при термическом ударе, вызванном оттаиванием слоя льда на поверхности бетонного покрытия, использовали результаты эксперимента, выполненного И. В. Баландиной [11]. Согласно результатам опыта, в первые минуты оттаивания льда температура и температурный градиент в слоях покрытия распределяются, как представлено в табл. 2.

Таблица 2

Температуры и градиенты слоев покрытия
Temperatures and gradients of surfacing layers

Глубина слоя z , см	Температура слоя t , °C	Градиент температуры, °C/см
0,00	-7,0	8,00
0,50	-11,0	4,33
1,50	-13,5	1,38
3,50	-14,0	0,25

Расчет выполняли с помощью компьютерной программы PARUS, составленной на алгоритмическом языке Pascal и предназначенной для определения напряженно-деформированного состояния цементно-бетонного покрытия автомобильных дорог от температурного воздействия. Интерфейс программы показан на рис. 2.

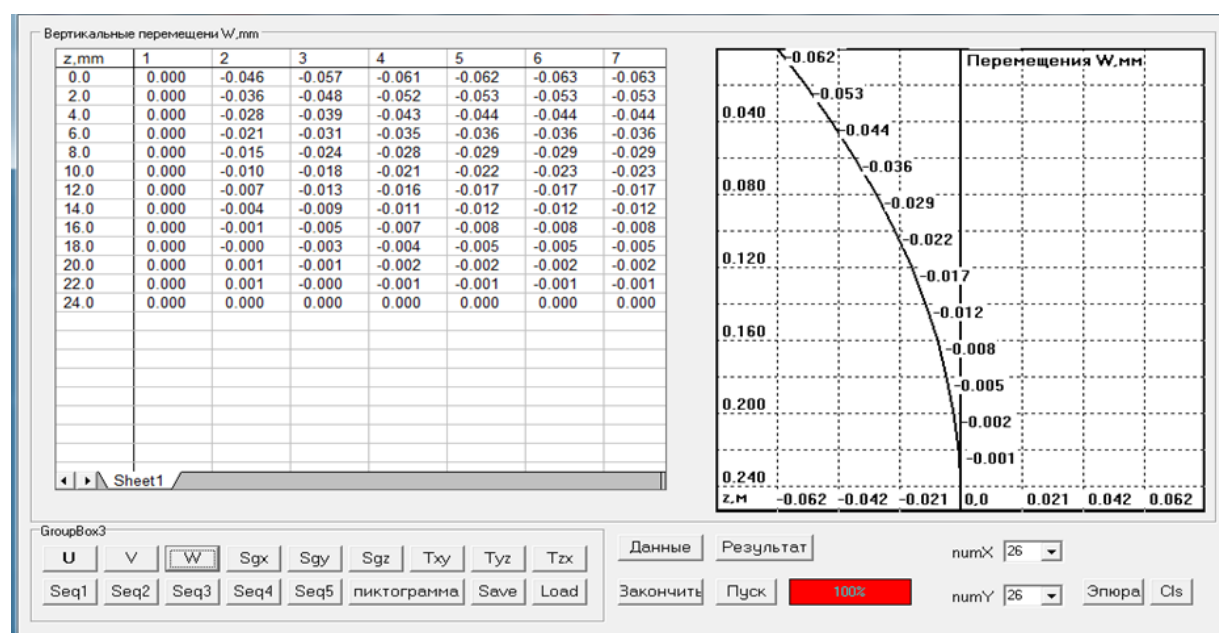


Рис. 2. Интерфейс программы PARUS

Fig. 2. Interface of PARUS program

Температура на конечно-разностной сетке получена путем интерполяции по данным опыта (табл. 2). Графики распределения температуры и перемещений по глубине покрытия показаны на рис. 3а, б). Из графиков, представленных на рис. 3, видно, что вертикальные перемещения распределены практически по линейному закону, за исключением места у верхней поверхности покрытия (рис. 3б).

Горизонтальные нормальные напряжения у поверхности покрытия являются сжимающими и принимают экстремальные значения (рис. 4а). По мере заглубления горизонтальные нормальные напряжения меняют знак на положительный и распределены равномерно на нижерасположенной части покрытия. При этом значения этих напряжений не превышают 8 % от экстремального значения.

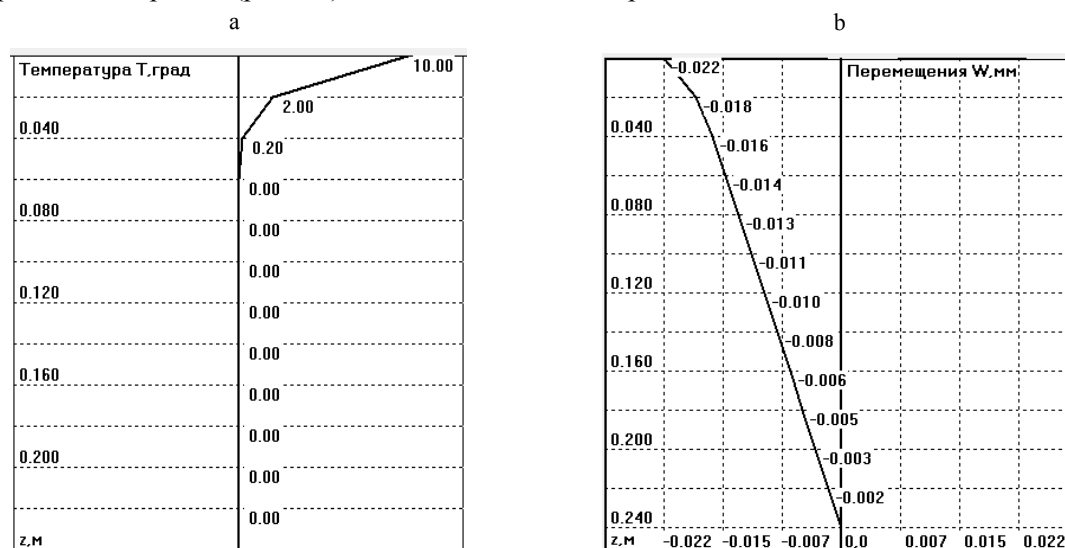


Рис. 3. Графики распределения температуры (а) и вертикальных перемещений (б) под серединой участка дорожного покрытия при термическом ударе

Fig. 3. Diagrams of temperature distribution (а) and vertical displacements (б) under middle section of pavement surfacing at thermal shock

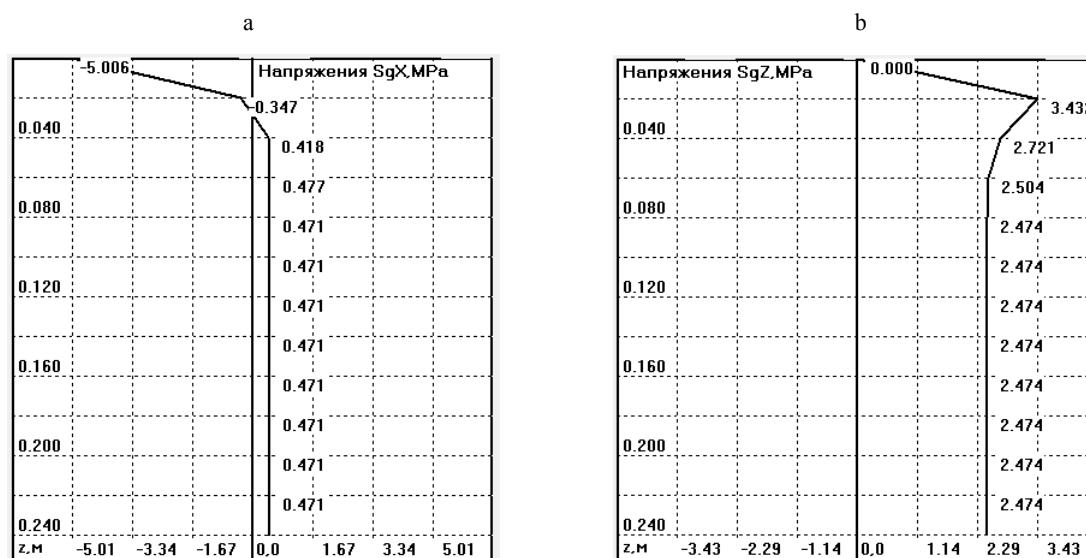


Рис. 4. Графики распределения горизонтального (а) и вертикального (б) нормальных напряжений под серединой участка дорожного покрытия при термическом ударе

Fig. 4. Distribution of horizontal (a) and vertical (b) normal stresses under middle section of pavement surfacing at thermal shock

На поверхности покрытия вертикальные нормальные напряжения равны нулю (рис. 4б). Вблизи поверхности они достигают максимума и принимают положительные значения. Затем по мере заглубления напряжения остаются положительными и практически не изменяются.

Допускаемые изменения температуры для бетонных дорожных покрытий при термическом ударе

Используя компьютерную программу PA-RUS, определяли допустимые параметры закона распределения температуры по толщине бетонного покрытия, подвергнутого термическому удару.

В качестве параметра закона изменения температуры, принятого по результатам испытания И. В. Баландиной [11], выбрали температуру верхнего слоя покрытия t_b . Сохраняя

соотношения температур в разных слоях покрытия, выполняли расчеты для различных значений параметра t_b . Результаты вычислений приведены в табл. 3.

Используя результаты расчета, приведенные в табл. 3, линейную интерполяцию, а также учитывая принятые значения $k_0 = 0,74$ МПа, $R_{пр} = 45,0$ МПа и $R_p = 2,70$ МПа, найдем предельную температуру верхнего слоя дорожного покрытия $t_{пр}$, соответствующую образованию микротрещин и разрушению бетона за счет отрыва:

$$t_{пр} = t_1 + \frac{R_p - \sigma_{eq1}}{\sigma_{eq2} - \sigma_{eq1}} (t_2 - t_1) =$$

$$= 7 - \frac{2,70 - 2,14}{2,75 - 2,14} (9 - 7) = 8,84 \text{ (}^\circ\text{C)}. \quad (2)$$

Таблица 3

Определение эквивалентных напряжений в дорожном покрытии при термическом ударе

Determination of equivalent stresses in pavement surfacing at thermal shock

Глубина расположения слоя z, см	Параметр закона изменения температуры, $^\circ\text{C}$						
	$t_b = 1;$ $t_n = 0$	$t_b = 3;$ $t_n = 0$	$t_b = 5;$ $t_n = 0$	$t_b = 7;$ $t_n = 0$	$t_b = 9;$ $t_n = 0$	$t_b = 11;$ $t_n = 0$	$t_b = 8,39;$ $t_n = 0$
σ_{eq} , МПа	0,31	0,92	1,53	2,14	2,75	3,37	3,10
Обозначения: σ_{eq} – эквивалентное напряжение; t_b – температура поверхности цементно-бетонного слоя; t_n – температура нижнего слоя цементно-бетонной толщи, подвергнутой термическому удару.							

Полученный параметр закона изменения предельных температур $t_{\text{пр}}$ соответствует среднему предельному градиенту температур вблизи поверхности дорожного покрытия $\text{grad}t_{\text{пр}}$, вызывающему образование микротрещин:

$$\text{grad}t_{\text{пр}} = \frac{t_{\text{пр}}}{h_i} = \frac{8,84}{3,5} = 2,53 \text{ (}^\circ\text{C/см)}, \quad (3)$$

где h_i – толщина слоя дорожного покрытия, подвергнутого термическому удару, $h_i = 3,5$ см (z , табл. 2).

ВЫВОДЫ

1. Решена задача о распределении напряжений в цементно-бетонном дорожном покрытии при различных законах распределения температуры по его толщине. Для расчета прочности цементно-бетонного покрытия автомобильных дорог при термическом ударе использован численный метод – метод конечных разностей. Полагается, что слой покрытия является квази-однородным и изотропным. Поэтому использован математический аппарат линейной теории упругости. Составлен алгоритм и разработана компьютерная программа PARUS для определения напряженного состояния бетонного слоя дорожного покрытия.

2. Критерий прочности цементно-бетонного покрытия автомобильных дорог выбирался в зависимости от напряженного состояния материала. Если максимальное главное напряжение имело значение меньше нуля, то за критерий прочности принималось напряжение образования трещин при сжатии бетона R_t . Если максимальное главное напряжение являлось растягивающим, то за критерий принималось расчетное сопротивление бетона на отрыв R_p . По результатам расчета для бетонов класса $C_{45/55}$ установлено допустимое значение градиента температуры термического удара $2,53$ $^\circ\text{C/см}$.

3. По результатам анализа напряженно-деформированного состояния цементно-бетонного покрытия автомобильных дорог, подвергнутого воздействию температурного удара, установлено, что разрушение бетона происходит в слое бетонного покрытия автомобильных дорог вблизи его поверхности. Толщина этого

слоя не превышает 4–6 мм. Также выявлено, что преобладающими являются горизонтальные нормальные напряжения, знак которых зависит от повышения или снижения температуры. Вертикальное нормальное напряжение на поверхности покрытия во всех случаях равно нулю и имеет экстремальные значения на некоторой глубине, равной примерно половине толщины цементно-бетонного слоя.

4. Для уменьшения температурных перепадов бетонных дорожных покрытий при термическом ударе рекомендуется:

- не допускать образования ледяного покрытия большой толщины (более 2 см), что требует оперативного выполнения работ по очистке дорог от снежного покрова и ото льда;
- увеличивать теплопоглощение поверхности дорожного покрытия за счет использования более темных цветов его поверхности – снижения альбедо солнечной радиации за счет засыпки поверхности покрытия угольной пылью;
- использовать комбинированные химико-фрикционные методы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берг, О. Я. Некоторые физические обоснования теории прочности бетона / О. Я. Берг // Теория расчета и конструирования железобетонных конструкций. М.: Госстройиздат, 1958. С. 14–22.
2. Скрамтаев, Б. Г. Исследование прочности бетона и пластичности бетонной смеси / Б. Г. Скрамтаев. М.: Военно-инженерная академия, 1936. 222 с.
3. Свечин, Н. В. Упругопластические свойства цементного камня / Н. В. Свечин // Исследование по технологии бетона. М.: Стройиздат, 1950. С. 18–22.
4. Берг, О. Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона / О. Я. Берг. М.: Госстройиздат, 1952. 96 с.
5. Михайлов, В. В. Элементы теории структуры бетона / В. В. Михайлов. М.: Стройиздат, 1941. 85 с.
6. Бриджмен, П. У. Исследование больших пластических деформаций и разрыва. Влияние высокого гидростатического давления на механические свойства материалов / П. У. Бриджмен. М.: Иностранная литература, 1955. 220 с.
7. Гвоздев, А. А. Расчет несущей способности конструкций по методу предельного равновесия / А. А. Гвоздев. М.: Стройиздат, 1949. 280 с.
8. Волков, С. Д. Статистическая теория прочности / С. Д. Волков. М.: Машгиз, 1960. 98 с.
9. Волков, С. Д. Единая статистическая теория прочности твердых тел / С. Д. Волков // Журнал технической физики. 1953. Т. 23, № 11. С. 2025–2038.

10. Журков, С. Н. Временная зависимость прочности твердых тел / С. Н. Журков, Б. Н. Нарзуллаев // Журнал технической физики. 1953. Т. 23, № 10. С. 1677–1689.
11. Баландина, И. В. О влиянии термического удара на разрушение дорожного бетона / И. В. Баландина // Измерение физико-механических свойств и характеристик структур строительных материалов. М., 1981. С. 78–80.

Поступила 03.12.2015

Подписана в печать 05.02.2016

Опубликована онлайн 30.03.2016

REFERENCES

1. Berg O. Ya. (1958) Some Physical Substantiation of Concrete Strength Theory. *Theory for Calculation and Design of Reinforced Concrete Constructions*. Moscow, Gosstroyizdat, 14–22 (in Russian).
2. Skramtaev B. G. (1936) *Investigation of Concrete Strength and Time-Yield in Concrete Mixture*. Moscow: Military Engineering Academy. 222 (in Russian).
3. Svechin N. V. (1950) Elastic-Plastic Properties of Hardened Cement Paste. *Investigations on Concrete Technology*. Moscow, Sroyizdat, 18–22 (in Russian).
4. Berg O. Ya. (1952) *Physical Principles for Concrete and Reinforced Concrete Strength Theory*. Moscow, Gosstroyizdat. 96 (in Russian).
5. Mikhailov V. V. (1941) *Elements of Concrete Structure Theory*. Moscow, Sroyizdat. 85 (in Russian).
6. Bridgman P. W. (1952) *Studies in Large Plastic Flow and Fracture: with Special Emphasis on the Effects of Hydrostatic Pressure*. New York-London: McGraw-Hill. 362 (Russ. ed.: Bridgman P. W. (1955) *Issledovanie Bolshikh Plasticheskikh Deformatsii i Razryva. Vliianie Vysokogo Gidrostaticheskogo Davleniia na Mekhanicheskie Svoistva Materialov*. Moscow, Inostrannaya Literatura. 220).
7. Gvozdev A. A. (1949) *Calculation of Structure Bearing Capacity using Limit Equilibrium Method*. Moscow, Sroyizdat. 280 (in Russian).
8. Volkov S. D. (1960) *Statistical Strength Theory*. Moscow, Mashgiz. 98 (in Russian).
9. Volkov S. D. (1953) Unified Statistical Strength Theory of Solid Bodies. *Zhournal Tekhnicheskoy Fiziki* [Journal of Technical Physics], 23 (11), 2025–2038 (in Russian).
10. Zhurkov S. N., Narzullaev B. N. (1953) Time Dependence of Strength in Solid Bodies. *Zhournal Tekhnicheskoy Fiziki* [Journal of Technical Physics], 23 (10), 1677–1689 (in Russian).
11. Balandina I. V. (1981) About Effect of Thermal Shock on Road Concrete Fracture. *Measurement of Physical and Mechanical Properties and Characteristics of Construction Material Structures*. Moscow, 78–80 (in Russian).

Received: 03.12.2015

Accepted: 05.02.2016

Published online: 30.03.2016

УДК 69.059

Эффективные технологии производства работ по ликвидации неэксплуатируемых производственных объектов

Канд. техн. наук, проф. В. Н. Черноиван¹⁾, докт. техн. наук, проф. С. Н. Леонович²⁾,
канд. техн. наук, доц. Н. В. Черноиван¹⁾

¹⁾Брестский государственный университет (Брест, Республика Беларусь),

²⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2016
Belarusian National Technical University, 2016

Реферат. Проанализированы основные причины, приведшие к закрытию целого ряда промышленных объектов на территории Республики Беларусь и большинства государств бывшего СССР. Выполнен анализ конструктивных решений, номенклатуры несущих и ограждающих конструкций неэксплуатируемых промышленных зданий и сооружений, который позволил сделать вывод, что подавляющее большинство их составляют производственные здания и сооружения, выполненные из сборных и монолитных железобетонных конструкций. Учитывая, что большинство неэксплуатируемых промышленных зданий и сооружений расположены в промышленных зонах, удаленных от жилой застройки и имеющих развитую инфраструктуру (автомобильные дороги, железнодорожные пути, сети коммуникаций и др.), затраты на создание которой, как правило, превышают стоимость вновь возводимых производственных зданий и сооружений, сделано заключение о целесообразности использования существующих промышленных зон с расположенными в них неэксплуатируемыми промышленными объектами. С учетом выполненного анализа технологии выполнения работ по ликвидации производственных зданий выявлена целесообразность сноса объектов способом механического разрушения. Экономическая эффективность применения способа механического разрушения для сноса производственных зданий из сборных и монолитных конструкций проиллюстрирована на приведенном в статье проекте производства работ на ликвидацию указанным способом строений цеха по производству извести ОАО «Березовский КСИ». Предлагаемая технология по механическому разрушению железобетонных конструкций базируется на применении гусеничного экскаватора для сноса зданий марки Doosan S340LC-VSDM, использование которого позволяет обеспечить полную безопасность производства работ.

Ключевые слова: неэксплуатируемые промышленные здания (сооружения), ликвидация здания (сооружения), демонтаж объекта, снос объекта, комплект машин

Для цитирования: Черноиван, В. Н. Эффективные технологии производства работ по ликвидации неэксплуатируемых производственных объектов / В. Н. Черноиван, С. Н. Леонович, Н. В. Черноиван // *Наука и техника*. 2016. Т. 15, № 2. С. 95–106

High Performance Technologies for Liquidation of Non-Operational Production Facilities

V. N. Chernoiivan¹⁾, S. N. Leonovich²⁾, N. V. Chernoiivan¹⁾

¹⁾Brest State University (Brest, Republic of Belarus),

²⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. The paper analyzes main reasons that have led to closure of a number of industrial enterprises on the territory of the Republic of Belarus and in the majority of former Soviet Union countries. An analysis of constructive decisions and range

Адрес для переписки

Леонович Сергей Николаевич
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 150,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 265-96-76
leonovichsn@tut.by

Address for correspondence

Leonovich Sergey N.
Belarusian National Technical University
150 Nezavisimosty Ave.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 265-96-76
leonovichsn@tut.by

of bearing and enclosing structures for non-operational industrial buildings and facilities has been carried out in the paper. The analysis has made it possible to draw a conclusion that the overwhelming majority of the buildings and facilities were constructed using prefabricated and cast-in-situ reinforced concrete structures. Taking into account the facts that substantially all non-operational industrial buildings and facilities are located in industrial zones being rather far from residential housing area and having developed infrastructure (highways, railway lines, communication network etc.) and expenses on infrastructure development usually exceed the cost of newly built industrial buildings and facilities some findings have been given on expediency pertaining to usage of existing industrial zones. The main problem has been defined in the paper and its solution will permit to use again existing industrial zones with non-operational industrial facilities which are located there. With due account for the executed analysis of standard operating procedures on liquidation of industrial buildings an expediency has been revealed that presupposes demolition of facilities with the help of mechanical breakdown. An economic efficiency on application of mechanical demolition method for industrial buildings constructed using prefabricated and cast-in-situ structures has been illustrated in Work Execution Plan on liquidation of industrial buildings in the workshop which has been involved in lime production at JSC "Berezovsky Industrial Complex of Silicate Products". The proposed technology for mechanical demolition of reinforced concrete structures is based on application of a caterpillar excavating machine of Doosan S340LC-VSDM model. Its application permits to ensure complete safety conditions while executing works.

Keywords: non-operational industrial buildings (facilities), building liquidation (facility), dismantling of facility, demolition of facility, set of machinery

Forcication: Chernoiivan V. N., Leonovich S. N., Chernoiivan N. V. (2016) High Performance Technologies for Liquidation of Non-Operational Production Facilities. *Science & Technique*. 15 (2), 95–106 (in Russian)

Введение

Сегодня на территории Республики Беларусь (как и большинства государств бывшего СССР) находятся сотни производственных зданий, которые не эксплуатируются на протяжении длительного времени. Выполненный анализ номенклатуры этих объектов показал, что подавляющее большинство составляют здания с конструкциями из сборного и монолитного железобетона. Основной причиной, приведшей к закрытию целого ряда таких предприятий (в том числе по выпуску стройматериалов и конструкций), является изменение номенклатуры и объемов выпускаемой продукции и как следствие необходимость в замене технологического оборудования.

Как показали практика и накопленный опыт модернизации промышленных предприятий в Республике Беларусь и странах СНГ, использование существующих неэксплуатируемых промышленных зданий (сооружений) для организации нового производства экономически невыгодно по следующим причинам:

- теплотехнические характеристики ограждающих конструкций (наружные стены, покрытие) не соответствуют действующим нормам [1];
- геометрические размеры и планировочные решения зданий (сооружений) не позволяют установить в них новое технологическое оборудование.

Однако, учитывая, что большинство неэксплуатируемых производственных объектов

расположены в промышленных зонах, которые удалены от жилой застройки и, как правило, полностью обустроены (имеют подъездные железнодорожные пути и автомобильные дороги с твердым покрытием, сети коммуникаций), экономически целесообразно модернизацию промышленного производства в Республике Беларусь осуществлять, используя уже существующие промзоны. Ввиду того что неэксплуатируемые производственные здания, находящиеся в промзонах, по ряду перечисленных причин не могут быть использованы при модернизации промышленного производства, актуальной является проблема выбора эффективных (малозатратных) технологических решений их ликвидации.

Сегодня в Республике Беларусь отсутствует нормативный документ, регламентирующий состав проекта производства работ (ППР) на ликвидацию неэксплуатируемых производственных зданий и сооружений. Поэтому при подготовке статьи авторы использовали нормативные документы Российской Федерации [2–5]. Согласно [2], ликвидация неэксплуатируемых зданий (сооружений) может быть выполнена одним из двух способов: демонтажом или сносом объекта.

Демонтаж объекта – это ликвидация здания (сооружения) путем разборки сборных и обрушения монолитных конструкций с предварительным демонтажом технических систем и элементов отделки. Снос объекта – ликвидация здания (сооружения) одним из следующих

способов обрушения: механическим, взрывным или специальным с предварительным демонтажом технических систем и элементов отделки.

Анализ перечня основных и вспомогательных работ, входящих в состав комплексного технологического процесса ликвидации зданий (сооружений), позволяет сделать вывод, что основными (базовыми) критериями при выборе способа ликвидации зданий (сооружений) являются:

- техническое состояние несущих и ограждающих конструкций;
- близость расположения объекта ликвидации к существующей застройке;
- возможность повторного применения по назначению демонтированных конструкций.

Организационно-технологическая последовательность выполнения работ

Ликвидация неэксплуатируемых зданий (сооружений) является сложным технологическим процессом, включающим: подготовительные мероприятия, демонтаж оборудования, внутренних инженерных систем и элементов отделки и непосредственно демонтаж или снос объекта. До начала ликвидации зданий и сооружений проводится обследование технического состояния конструкций объекта с целью установления:

- опасности обрушения конструкций;
- возможности повторного использования конструкций;
- безопасного производства демонтажных работ.

До начала производства работ по демонтажу зданий (сооружений) необходимо осуществить следующие подготовительные мероприятия.

1. Расчетами, выполненными в соответствии с Приложением Б ТКП 45-1.03-40–2006 [6], определить границы опасных зон для всех демонтируемых конструкций. На границах опасных зон установить сигнальные ограждения и знаки безопасности в соответствии с СТБ 1392–2003 [7].

2. Обособленные участки работ и рабочие места обеспечить телефонной или радиосвязью.

3. Строительная организация, выполняющая ликвидацию объекта, должна получить у тех-

нического заказчика документ, удостоверяющий отключение электроэнергии, газо-, паро- и водопроводов, воздухопроводов, а также всех систем связи, автоматизированного и дистанционного управления технологическим оборудованием. Этот документ должен содержать заключение о разрешении производить работы, характеристику сетей и их конструкцию.

4. Схема временного электроснабжения на период ликвидации здания (сооружения) должна быть независимой от существующей схемы электропроводки объекта.

5. Лицо, допущенное к ликвидации объекта, должно получить разрешение на ликвидацию объекта и документы, удостоверяющие отключение коммуникаций, у технического заказчика. Издать приказ по организации, определяющий порядок производства работ на строительной площадке в каждую смену, и назначить ответственных за производство работ, противопожарную безопасность, электробезопасность.

6. Перед началом выполнения работ заказчик и генеральный подрядчик с участием субподрядчиков и администрации действующей организации обязаны оформить акт-допуск по форме, приведенной в Приложении А [6]. Ответственность за выполнение мероприятий, предусмотренных актом-допуском, несут руководители строительных и действующей организаций.

7. Территория, прилегающая к зоне производства работ по демонтажу (разрушению) конструкций, должна очищаться от мусора и снега, не загромождаться складироваемыми материалами и конструкциями.

Ликвидация зданий (сооружений) способом демонтажа объекта

Демонтаж зданий и сооружений производится двумя способами: поэлементно или отдельными блоками [2].

Поэлементный демонтаж обеспечивает максимальную сохранность конструкции (узла, детали, элемента) для повторного применения. Разборка объекта отдельными укрупненными блоками более эффективна по сравнению с поэлементной разборкой, так как позволяет сократить продолжительность и трудоемкость работ.

Основными критериями, позволяющими рекомендовать применение способа демонтажа при ликвидации объекта, следует считать то, что:

- техническое состояние несущих и ограждающих конструкций здания по результатам выполненного обследования оценено не ниже II категории;
- здания (сооружения) существующей застройки попадают в опасную зону производства работ ликвидируемого объекта;
- демонтированные конструкции (конструктивные элементы) могут быть применены на других объектах без ограничения.

Разборка зданий и сооружений выполняется в последовательности сверху вниз, т. е. обратной монтажу конструкций и элементов. До начала производства работ непосредственно по демонтажу конструкций промышленных объектов необходимо завершить демонтаж технологических конструкций (трубопроводы, инженерные коммуникации, опоры, этажерки под оборудование и др.).

Первым этапом демонтажа здания являются снятие остекленных оконных рам и доставка их на площадку (помещение) временного хранения, где производится отделение стекла и складирование его в контейнер.

Второй этап включает демонтаж кровельного покрытия здания. Для выполнения требований по охране окружающей среды (материалы на битумной основе необходимо утилизировать отдельно) демонтаж рулонного водоизоляционного ковра кровельного покрытия ведется отдельным технологическим потоком. Используя машину с вращающейся фрезой, рулонный ковер разрезают на полосы шириной до 1,0 м, скатывают в рулоны, укладывают в контейнеры, краном загружают в автотранспорт и вывозят на утилизацию.

Затем приступают к разборке и удалению выравнивающей стяжки. Разборку ее рекомендуется выполнять полумеханизированным способом с помощью отбойного молотка. По завершении работ по разборке выравнивающей стяжки образовавшийся строительный мусор вручную загружают в ящики или бункеры емкостью 1,0–1,5 м³, с помощью крана снимают с кровли, грузят в автотранспорт и вывозят с объекта.

Третий этап – непосредственно демонтаж несущих и ограждающих конструкций – наиболее ответственный и трудозатратный, так как связан с обеспечением безопасных условий труда на высоте.

Сегодня в Российской Федерации разработаны типовые технологические карты на поэлементный демонтаж сборных железобетонных конструкций (ферм, балок, колонн, ребристых плит) [3, 5]. Анализ технологических операций и организация рабочего места монтажников, изложенные в [2, 4], при демонтаже сборных железобетонных ферм, балок, колонн, ребристых плит позволяют сделать следующие выводы.

1) выполнение подготовительных работ (расчистка швов между плитами от раствора и пробивка отверстий в плитах и между ними; срезка сварных швов между закладными деталями), предшествующих непосредственно демонтажу сборных железобетонных конструкций, осуществляется полумеханизированным способом, что достаточно трудоемко;

2) большой объем работ по обеспечению безопасных условий труда монтажников на высоте (обеспечение устойчивости конструкций и частей здания в процессе демонтажа, установка и демонтаж защитного ограждения высотой 1,1 м по ГОСТ 12.4.059–89, использование автовышек и др.) при демонтаже каждой конструкции требует существенных денежных затрат и времени на их выполнение;

3) проведение работ (детальное обследование, лабораторные нагружения) для получения заключения о возможности использования демонтированных конструкций по назначению на других объектах требует дополнительных финансовых затрат.

Следует отметить, что использование демонтированных ребристых железобетонных плит по назначению на других объектах практически невозможно, так как рекомендуемая технология их демонтажа [3] предусматривает пробивку в продольных ребрах плит сквозных отверстий для пропуска универсального стропы. Как показывает практика, в процессе производства работ по ликвидации производственных зданий (сооружений) способом поэлементного демонтажа возникают ситуации, требующие проведения дополнительных мероприятий по

обеспечению устойчивости конструкций и частей здания, а зачастую и использования метода механического обрушения отдельных конструкций.

Потребность в большой номенклатуре технологической оснастки, съемных грузозахватных приспособлений и инструмента, самоходных строительных кранов, автомобильных вышек, привлечение к выполнению работ высококвалифицированных строительных рабочих обусловили то, что сегодня стоимость поэлементного демонтажа производственных зданий обходится заказчику не менее чем в 150 у. е. за одну тонну железобетона.

Ликвидация зданий (сооружений) способом механического обрушения объекта

Механическое обрушение предусматривает валку конструкций зданий (сооружений) экскаватором с различным навесным оборудованием с последующим разрушением уцелевших элементов конструкций на части [2].

Ликвидация зданий (сооружений) способом механического обрушения объекта позволяет выполнять работы механизированным способом без привлечения рабочих с ручным инструментом, обустройства рабочих мест на высоте средствами подмащивания. Это существенно уменьшает влияние опасных и вредных производственных факторов на работающих и снижает стоимость работ.

Основными критериями, позволяющими рекомендовать ликвидацию объекта способом механического обрушения как наиболее эффективным, являются:

- техническое состояние несущих и ограждающих конструкций здания по результатам выполненного обследования оценено ниже III категории;
- здания (сооружения) существующей застройки подлежат ликвидации или не попадают в опасную зону производства работ ликвидируемого объекта;
- конструкции (конструктивные элементы) планируется утилизировать.

Исходные данные для разработки ППР

Отсутствие типовых технологических карт на ликвидацию промышленных зданий (сооружений) способом механического обрушения объек-

та, а следовательно, и перечня рекомендуемых машин, механизмов и оборудования [8, 9] создает трудности с выбором комплекта машин при разработке ППР на снос объектов механизированным способом.

Анализ [2, 3, 5], а также опыт, приобретенный при разработке ППР на ликвидацию цеха по производству извести ОАО «Березовский КСИ» [10], позволяют сформулировать основные положения методики по выбору комплекта машин для производства работ по ликвидации зданий (сооружений) способом механического обрушения объекта.

1. Используя результаты детального обследования ликвидируемого здания (сооружения), систематизируются следующие исходные данные:

- размеры здания в плане и максимальная отметка верха конструкции покрытия;
- конструктивное решение здания;
- материалы, из которых изготовлены несущие и ограждающие конструкции, а также размеры их поперечных сечений;
- техническое состояние несущих и ограждающих конструкций.

2. На основании исходных данных результатов детального обследования ликвидируемого здания (сооружения), используя средства информации (в первую очередь интернет), выполняется поиск базовой машины комплекта – экскаватора с навесным оборудованием. При выборе базовой машины комплекта необходимо ориентироваться на наличие ее в Беларуси.

Учитывая, что технологический процесс ликвидации зданий (сооружений) способом механического обрушения объекта практически не освещен в литературе, при подготовке статьи использованы реальные материалы разработанного ППР на ликвидацию цеха по производству извести ОАО «Березовский КСИ» [10]. Подлежащий ликвидации цех включал одиннадцать производственных зданий и сооружений, которые составляли единую технологическую линию. Исходные данные (конструктивные решения, размеры зданий; материалы, из которых изготовлены несущие и ограждающие конструкции, их поперечные сечения; техническое состояние конструкций и др.), необходимые для разработки ППР и выбора комплекта машин, взяты из заключения технического обследо-

дования, подготовленного ДРУП «Госстрой-экспертиза» по Брестской области.

Общие данные зданий (сооружений), подлежащих сносу

Здание № 2.1 (галерея) – одноэтажное, без подвала и чердака, прямоугольное в плане. Габаритные размеры галереи в плане 10,5×2,7 м. Основные несущие конструкции – колонны и балки покрытия – монолитные железобетонные. Максимальное поперечное сечение 400×400 мм имеют монолитные железобетонные колонны. Плиты покрытия – сборные железобетонные ребристые. Зафиксированная максимальная отметка верха кирпичной кладки стены по оси 3 (примыкание к зданию № 3) 4,393 м.

Кровля и покрытие в здании галереи полностью отсутствуют. Стены находятся в предаварийном состоянии (V категория). Инженерное обеспечение здания – водопровод, канализация, отопление и электроснабжение – отсутствует.

Здание № 3 – одноэтажное, с подвалом, прямоугольное в плане. Габаритные размеры здания в плане 32,18×9,80 м. Зафиксированные максимальные отметки верха кирпичной кладки стен в осях 1–6 составляют 6,8 м, в осях 6–7 они равны 4,3 м.

Кровля и покрытие в здании полностью отсутствуют. Стены находятся в предаварийном состоянии (V категория). Инженерное обеспечение здания – водопровод, канализация, отопление и электроснабжение – отсутствует.

Здание № 3.1 – одноэтажное, без чердака и подвала, прямоугольное в плане. Габаритные размеры здания в плане 58,18×3,07 м. Зафиксированные максимальные отметки верха кирпичной кладки стен 15,1 м (ось 8).

Кровля и покрытие в здании отсутствуют на 75 %, кирпичные стены разрушены на 70 %. Кровля и кирпичные стены в осях 1–6/А–Б находятся в предаварийном состоянии (V категория). Инженерное обеспечение здания – водопровод, канализация, отопление и электроснабжение – отсутствует.

Здание № 4 – состоит из трех частей:

- одноэтажной части размерами 9×18×6 (h) м (оси 6–7, А–Е);
- пристройки размерами 21×6×3,5 (h) м (оси 1–6, Д–Ж);
- трехэтажной части размерами 12×211×7 (h) м (оси 1–6, А–Д).

Основные несущие конструкции – сборные железобетонные колонны и балки. Максимальное поперечное сечение 600×400 мм имеют колонны. Перекрытия и покрытие выполнены из сборных железобетонных ребристых и многопустотных плит. Наружные стены кирпичные толщиной 250 и 380 мм.

К зданию по оси 7 примыкает здание 3.1, а по оси 1 – технологическое оборудование: металлическая труба диаметром 2,7 м. Кровля в здании рулонная, не утепленная. Инженерное обеспечение здания – водопровод, канализация, отопление и электроснабжение – отсутствует.

Здание № 4.1 (галерея) – одноэтажное, без чердака и подвала, прямоугольное в плане. Габаритные размеры здания в плане 9,54×2,20 м. Высота варьируется от 5,46 до 5,61 м. По оси 1 здание № 4.1 примыкает к зданию № 4, по оси 3 – к зданию № 5.

Все несущие конструкции (колонны, балки) – сборно-монолитные или монолитные. Максимальное поперечное сечение 400×400 мм имеют монолитные железобетонные колонны. Покрытие – сборные железобетонные ребристые плиты. Кровля в здании совмещенная, не утепленная. Состав кровли: водоизоляционный рулонный ковер (гидроизол) и цементно-песчаная стяжка (60 мм). Инженерное обеспечение здания – водопровод, канализация, отопление и электроснабжение – отсутствует.

Здание № 5 – состоит из одно- (в осях 1–3/Б–Е) и двухэтажной (в осях 3–5/А–Е) частей, без чердака и подвала. Габаритные размеры здания в плане 24,10×9,35 м. Высота одноэтажной части варьируется от 2,56 до 4,02 м, двухэтажной – от 7,6 до 10,4 м.

Покрытие здания частично выполнено из многопустотных сборных железобетонных плит размерами 3,3×1,2 м. Плиты покрытия опираются на кирпичные стены толщиной 250 и 380 мм, высота этажа 5 м. Перекрытие первого этажа монолитное. Кровля в здании совмещенная, не утепленная. Состав кровли: водоизоляционный рулонный ковер (гидроизол) и цементно-песчаная стяжка (60 мм). В здании имеются остекленные оконные проемы. Инженерное обеспечение здания – водопровод, канализация, отопление и электроснабжение – отсутствует.

Сооружение № 6 – опорная часть (фундамент) технологического оборудования цеха

по производству извести – металлической трубы $d = 2,7$ м. Габаритные размеры в плане $37,6 \times 8,3$ м, высота сооружения варьируется от 4,8 м (ось 11) до 7,2 м (ось 1).

Основными несущими конструкциями сооружения № 6 являются монолитные железобетонные колонны, фундаменты, балочные перекрытия. Максимальное поперечное сечение 850×600 мм имеют монолитные фундаменты. Инженерное обеспечение здания – водопровод, канализация, отопление и электроснабжение – отсутствует.

Здание № 7 – двухэтажное размерами $18,5 \times 10 \times 13,5$ (h) м. Покрытие здания выполнено из ребристых сборных железобетонных плит размерами $6,0 \times 1,5$ м. Плиты покрытия по осям 1 и 4 опираются на кирпичные стены толщиной 510 мм и высотой этажа 7,5 м. Перекрытие первого этажа монолитное.

Кровля в здании совмещенная, не утепленная. Состав кровли: водоизоляционный рулонный ковер (гидроизол) и цементно-песчаная стяжка (60–70 мм). В здании имеются остекленные оконные проемы. Инженерное обеспечение здания – водопровод, канализация, отопление и электроснабжение – отсутствует.

Сооружение № 7.1 представляет собой фундамент под технологическое оборудование – металлическую трубу $d = 1,5$ м. Фундамент – монолитный, состоит из двух отдельно стоящих блоков:

1-й блок размерами в плане $4,3 \times 3,4$ м расположен у здания № 7;

2-й блок размерами в плане $4,2 \times 2,0$ м расположен у здания № 7.2.

Максимальное поперечное сечение 850×800 мм имеют монолитные фундаменты.

Здание № 7.2 (галерея) – одноэтажное, без чердака и подвала, прямоугольное в плане. Габаритные размеры в плане $92,2 \times 3,4$ м, высота здания варьируется от 1,7 (ось 2) до 17,4 м (ось 11).

В состав здания № 7.2 входят непосредственно сама галерея (оси 2–11/Б–В) и кирпичное одноэтажное здание (в осях 1–2/А–В) размерами в плане $9,4 \times 6,4$ м. К зданию № 7.2 по оси 11 примыкает здание 8, а по оси 1 – технологическое оборудование: металлическая труба диаметром 2,7 м.

Все несущие конструкции (колонны, балки) – сборно-монолитные или монолитные.

Максимальное поперечное сечение 400×400 мм имеют монолитные железобетонные колонны. Покрытие – сборные железобетонные ребристые плиты. Стены кирпичные толщиной 250 мм. Кровля в здании рулонная, не утепленная. В кирпичном одноэтажном здании (в осях 1–2/А–В) стены кирпичные толщиной 380 мм. Покрытие выполнено из сборных железобетонных многопустотных плит. Инженерное обеспечение здания – водопровод, канализация, отопление и электроснабжение – отсутствует.

Сооружение № 8 представляет собой многоэтажное здание, выполненное из монолитного бетона до отметки 14,43 м, выше – из сборно-монолитных конструкций. Сооружение не имеет чердака и подвала. Габаритные размеры сооружения в плане $112,4 \times 7,6$ м, высота варьируется от 14,4 до 24,8 м.

В осях 13–17/А–Е выполнен металлический каркас, включающий:

- металлические колонны;
- металлические балки перекрытия и покрытия;
- наружные стены и кровлю – стальной профнастил.

Кровля в осях 1–13 и 17–26 совмещенная, не утепленная. Состав кровли: водоизоляционный рулонный ковер (гидроизол) и цементно-песчаная стяжка (60 мм). В здании имеются остекленные деревянные оконные блоки, дверные деревянные блоки. Инженерное обеспечение здания – водопровод, канализация, отопление и электроснабжение – отсутствует.

Технологическая последовательность производства работ

Учитывая, что практически все одиннадцать производственных зданий и сооружений цеха по производству извести ОАО «Березовский КСИ» имеют совмещенные рулонные кровли и частично сохранившееся остекление оконных проемов, с учетом экологических и санитарных норм принята следующая технологическая последовательность производства работ:

1) снятие остекленных оконных рам, отделение стекла и складирование его в контейнеры;

2) демонтаж рулонного водоизоляционного ковра кровельного покрытия, который осуществляется отдельным технологическим потоком. Для удаления старого рулонного ковра рекомендуется использовать машину конструк-

ции ЛНИИ АКХ (Ленинградский научно-исследовательский институт Академии коммунального хозяйства). Машина ЛНИИ АКХ позволяет разрезать рулонный ковер на требуемую глубину с помощью вращающейся фрезы. Максимальная ширина нарезаемых полос 1,0 м. Нарезанные полосы водоизоляционного ковра скатываются в рулоны, укладываются в контейнеры и автотранспортом вывозятся на утилизацию;

3) непосредственно снос (механическое разрушение здания), который включает следующие технологические процессы:

- разрушение конструкций здания (сооружения) гусеничным экскаватором для сноса зданий;
- перемещение бульдозером разрушенных конструктивных элементов на площадку утилизации материалов;
- разрушение щековой дробилкой обломков конструктивных элементов на мелкие фракции. Загрузка обломков (кусков) демонтированных конструкций и материалов в щековую дробилку производится одноковшовым экскаватором;
- загрузка ленточным конвейером мелких фракций разрушенных щековой дробилкой демонтированных обломков и вывоз их автотранспортом для дальнейшей утилизации.

Стройгенплан на снос зданий (сооружений) цеха по производству извести ОАО «Березовский КСИ», разработанный с учетом принятой технологии производства работ, приведен на рис. 1.

Выбор комплекта машин для производства работ

Исходя из фактических высотных отметок зданий цеха по производству извести ОАО «Березовский КСИ», подлежащих сносу, номенклатуры сборных и монолитных железобетонных конструкций, подлежащих механическому разрушению, а также учитывая технические характеристики машин, имеющихся в Республике Беларусь, принят следующий комплект машин для производства работ.

Ведущей машиной является гусеничный экскаватор для сноса зданий Doosan S340LC-VSDM. Он представляет собой крупногабаритную машину, которая применяется при сносе зданий, разборке и демонтаже различных сооружений.

Для этого экскаватор оборудован стрелой, имеющей уникальную конструкцию и оптимальную длину. Нижняя часть корпуса экскаватора находится на значительном расстоянии от гусеничных лент, что позволяет избежать риска механических повреждений внутренних элементов рабочих узлов при неблагоприятных условиях окружающей среды, во время движения по неровной поверхности. Плотное расположение всех звеньев гусеничных лент препятствует проникновению внутрь инородных частиц. Все элементы рабочих узлов гусеничного экскаватора изготовлены из высококачественных прочных материалов, что обеспечивает их надежность и износоустойчивость в течение длительного периода времени. Удобный доступ к оборудованию в значительной степени упрощает процесс технического обслуживания экскаватора. Специальные приспособления надежно защищают заднюю и переднюю части кабины от механических повреждений при перемещении крупногабаритных объектов. Находясь на рабочей площадке, машинист экскаватора имеет возможность полного кругового обзора строительного объекта, что позволяет ему самостоятельно наблюдать за ходом производственного процесса. Экскаватор оборудован масляным и топливным фильтрами, которые предотвращают загрязнение двигателя во время его функционирования. Основные технические характеристики гусеничного экскаватора Doosan S340LC-VSDM приведены на рис. 2.

При производстве работ по сносу зданий гусеничным экскаватором Doosan S340LC-VSDM рекомендуется в качестве сменного оборудования использовать гидравлические ножницы (бетонолом) Delta MC 2000-2 мультипроцессор. Эти ножницы могут использоваться как для сноса промышленных зданий и сооружений (разрушения кирпичных стен, монолитных и сборных железобетонных конструкций, в том числе перерезания арматуры и металлоконструкций), так и для вторичной обработки демонтированных элементов – разрушения их на более мелкие части на земле. Такие гидравлические ножницы благодаря возможности поворота на 360° позволяют эффективно выполнять работы в различных положениях, а два гидроцилиндра увеличивают разрушающее усилие ножниц.

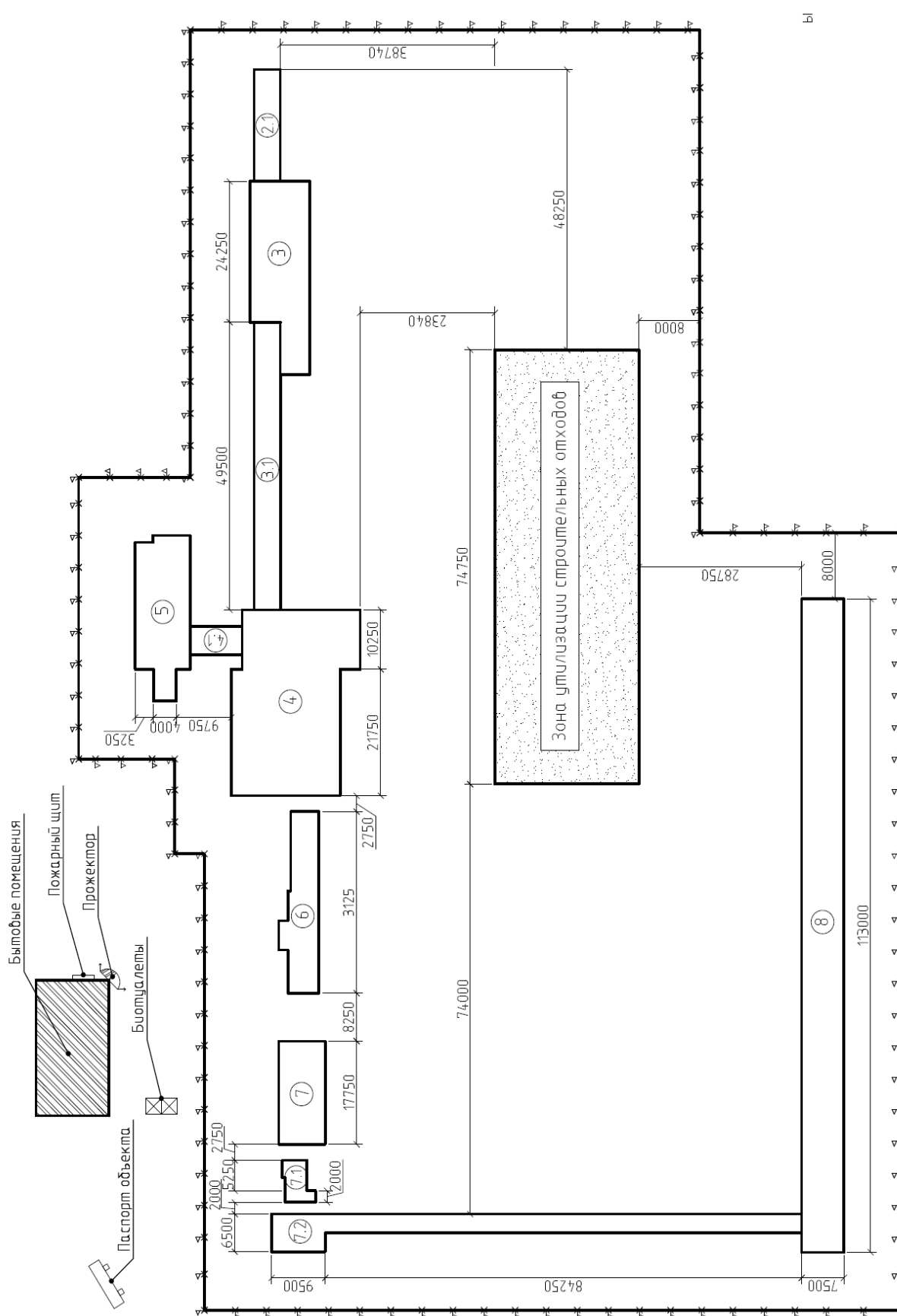


Рис. 1. Стройгенплан по сносу зданий: —*—*— граница опасной зоны

Fig. 1. Layout of construction site for building demolition: —*—*— danger line

Основные технические характеристики гидравлических ножниц Delta MC 2000-2 мульти-процессор:

- максимальная ширина захвата 886 мм;
- разрушающее усилие 57 т;
- режущее усилие 183 т.

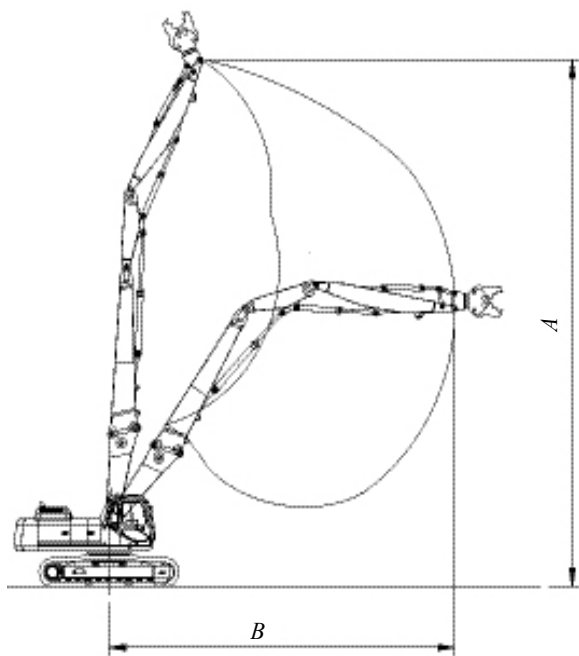


Рис. 2. Экскаватор Doosan S340LC-VSDM:
A – максимальная рабочая высота, $A = 21000$ мм;
B – максимальная рабочая длина, $B = 13000$ мм

Fig. 2. Doosan S340LC-VSDM excavator
A – maximum operational height, $A = 21000$ мм;
B – maximum operational length, $B = 13000$ мм

Для перемещения на площадку утилизации для дробления разрушенных при сносе здания кирпичных стен, обломков (кусков) монолитных и сборных железобетонных конструкций на мелкие фракции рекомендуется использовать бульдозер марки ДЗ-42 на базе гусеничного трактора ДТ-75МР-С2.

Разрушение демонтированных кусков кирпича, монолитного и сборного железобетона, бетона, строительного мусора на мелкие фракции следует выполнять мобильной щековой дробилкой марки Terex Pegson Metrotrak HA 900×600. Мобильная щековая дробилка имеет массу 29 т и производительность от 115 до 160 т/ч в зависимости от крупности кусков на выходе. На входе максимальное поперечное сечение разрушаемого куска обрабатываемого материала может иметь размер 600×900 мм и длину до 4 м, а на выходе размеры могут колебаться в пределах 100–110 мм. Загрузочная воронка объемом 4 м³ (900×600 мм) бронирована изно-

стойкой жостью. Вибрационный питатель размером 1060×4080 мм управляется плавной регулировкой скорости питания преобразователя частоты.

Учитывая технические характеристики мобильной щековой дробилки, куски и обломки монолитного и сборного железобетона и бетона длиной более 4 м у площадки дробления разрезаются с помощью ручного резчика K760 Cut-n-Break на фрагменты не более 4 м.

Для загрузки в загрузочную воронку щековой дробилки кусков кирпича, монолитного и сборного железобетона, бетона, строительного мусора рекомендуется использовать экскаватор марки ЭО-3323, оборудованный погрузочным грейфером марки ГП-555, который комплектуется ротатором. Привод ротатора – гидравлический от гидросистемы экскаватора. Вместимость ковша 0,6 м³, имеет пять челюстей.

Предлагаемая технология производства работ по ликвидации зданий (сооружений) способом механического обрушения объекта проиллюстрирована на примере галереи (позиция 2.1) и кирпичного здания (позиция 3) и представлена в виде технологической схемы на рис. 3.

Комплект машин и механизмов, рекомендуемый для проведения работ по ликвидации зданий цеха по производству извести ОАО «Березовский КСИ» способом механического обрушения объекта, приведен в табл. 1.

Таблица 1

Потребность в машинах и механизмах при сносе зданий способом механического обрушения

Requirements in machinery and mechanisms during building demolition while using mechanical break-down

Наименование машин и механизмов	Тип или марка	Характеристика	Количество на период демонтажа
Гусеничный экскаватор-разрушитель	Doosan S340LC-VSDM	$H = 21$ м	1
Гидравлические ножницы	Delta MC 2000-2 мульти-процессор	$B_{\max} = 886$ мм	1
Бульдозер	ДЗ-42	$B_{\text{отвала}} = 2,56$ м	1
Мобильная щековая дробилка	Terex Pegson Metrotrak HA 900×600	$L_{\text{облом}} = 4$ м	1
Экскаватор	ЭО-3323	Гидравлический привод	1
Грейфер погрузочный	ГП-555	$V = 0,6$ м ³	1
Ручной резчик	K760 Cut-n-Break	Глубина резки 400 мм	1
Машина для нарезки швов в рулонном ковре	ЛНИИ АКХ	Производительность 4 м/мин	1

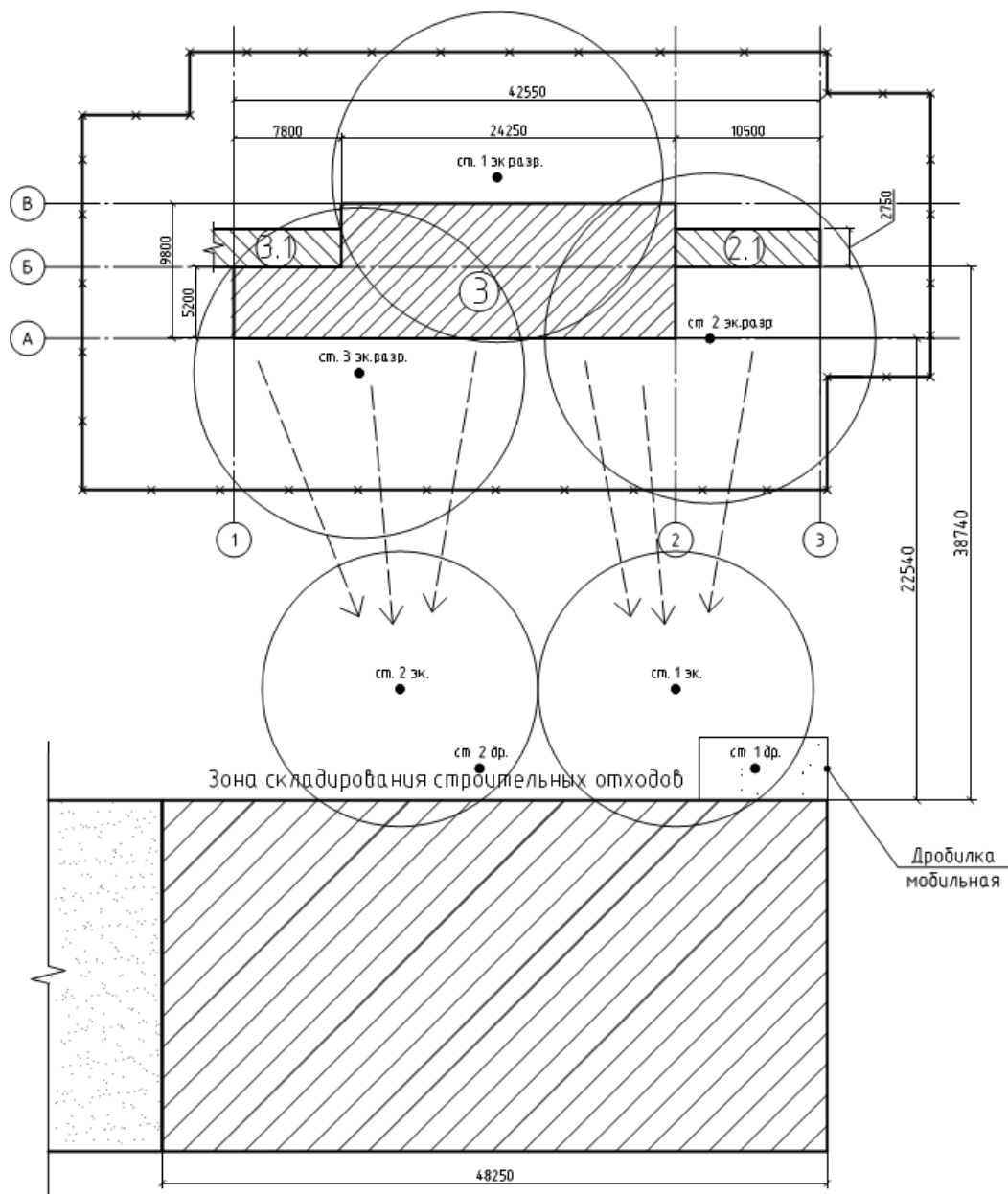


Рис. 3. Технологическая схема ликвидации зданий № 2.1 и 3 способом механического обрушения объекта:
 —×—×— граница опасной зоны; ст. 1 эк. разр. — стоянка гусеничного экскаватора Doosan S340LC-VSDM;
 ст. 1 эк. — стоянка экскаватора ЭО-3323; ст. 1 др. — расположение мобильной дробилки Terex Pegson Metrotrak HA 900×600;
 — — — — —> — направление движения бульдозера ДЗ-42

Fig. 3. Technological scheme for liquidation of building points 2.1 and 3 using mechanical building break-down method
 —×—×— danger line; ст. 1 эк. разр. — parking of Doosan S340LC-VSDM-caterpillar excavator; ст. 1 эк. — parking
 of ЭО-3323 excavator; ст. 1 др. — position of Terex Pegson Metrotrak-mobile crusher HA 900×600;
 — — — — —> — direction of ДЗ-42-bulldozer motion

ВЫВОД

Высокая трудоемкость и как следствие высокая стоимость работ по ликвидации неэксплуатируемых зданий (сооружений) способом

поэлементного демонтажа, а также достаточно проблематичное повторное использование демонтированных конструкций по назначению позволяют рекомендовать снос неэксплуатируемых производственных зданий (сооружений)

способом механического обрушения. Это наиболее безопасное и полностью механизированное технологическое решение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-2.04-43-2006 (02250). Взамен СНБ 2.04.01-97; введ. 01.07.2007. Минск: Минстройархитектуры, 2007. 32 с.
2. Снос (демонтаж) зданий и сооружений: СТО 066 НОСТРОЙ 2.33.53-2013. Липецк: Национальное объединение строителей НП СРОС «СЛО», 2013. 37 с.
3. Типовая технологическая карта на демонтаж нежилого производственного дома: Т-13-2 [Электронный ресурс] // Инженерно-правовой центр защиты интересов застройщиков. Режим доступа: <http://www.ipcziz.ru/T-13-2.pdf>. Дата доступа: 30.11.2015.
4. Олейник, П. П. Организационные решения по разборке (сносу) жилых зданий типовых серий / П. П. Олейник, С. П. Олейник. М.: МГСУ, 2008. 55 с.
5. Плиты покрытий и перекрытий сборные железобетонные с предварительно напряженной арматурой для пролетов до 2,7 м. Технические требования к монтажу и контролю их выполнения: СТО НОСТРОЙ 2.7.55-2011 / Национальное объединение строителей. М.: БСТ, 2011. 63 с.
6. Безопасность труда в строительстве. Общие требования: ТКП 45-1.03-40-2006. Введ. 27.11.2006. Минск: Минстройархитектуры, 2007. 45 с.
7. Система стандартов пожарной безопасности. Цвета сигнальные. Знаки пожарной безопасности. Общие технические требования. Методы испытаний: СТБ 1392-2003. Введ. 01.11.2003. Минск: Минстройархитектуры, 2003. 40 с.
8. Строительство. Технологическая документация при производстве строительно-монтажных работ. Состав, порядок разработки, согласования и утверждения технологических карт: ТКП 45-1.01-159-2009. Введ. 01.01.2010. Минск: Минстройархитектуры, 2009. 13 с.
9. Колосков, В. Н. Разборка жилых зданий и переработка их конструкций и материалов для повторного использования / В. Н. Колосков, П. П. Олейник, А. Ф. Тихонов. М.: Изд-во АСВ, 2004. 200 с.
10. Черноиван, В. Н. Проект производства работ на демонтаж цеха по производству извести ОАО «Березовский КСИ» / В. Н. Черноиван. Брест, БрГТУ, 2013. 117 с.

Поступила 14.01.2014

Подписана в печать 17.03.2014

Опубликована онлайн 30.03.2016

REFERENCES

1. ТКП 45-2.04-43-2006 (02250). Construction Heat Engineering. Construction Design Standards. Minsk, Ministry of Architecture and Construction, 2007, 32 (in Russian).
2. STO 066 NOSTROY 2.33.53-2013. Demolition (Dismantling) of Buildings and Constructions. Lipetsk, National Association of Builders NP SROS "SLO", 2013. 37 (in Russian).
3. T-13-2. Standard Flow Diagram for Dismantling of Non-Domestic Industrial Building. *Engineering and Law Center Protect the Interests of Property Developers*. Available at: <http://www.ipcziz.ru/T-13-2.pdf>. (Accessed 30 November 2015).
4. Oleynik P. P., Oleynik S. P. (2008) *Organizational Solutions on Dismantling (Demolition) of Standard Domestic Buildings*. Moscow, MGSU. 55 (in Russian).
5. STO NOSTROY 2.7.55-2011. Precast Reinforced Concrete Slabs with Pre-Tensioned Reinforcement for Spans up to 2.7 m. Technical Requirements on Assembly and Control Over their Compliance. Moscow, BST Publishing House, 2011. 63 (in Russian).
6. ТКП 45-1.03-40-2006. Labour Security in Construction. General Requirements. Minsk, Ministry of Architecture and Construction, 2007. 45 (in Russian).
7. STB 1392-2003. Standard System for Fire Safety. Safety Colours. Fire Safety Signs. General Technical Requirements. Test Methods. Minsk, Ministry of Architecture and Construction, 2003. 40 (in Russian).
8. ТКП 45-1.01-159-2009. Construction. Technological Documentation for Execution of Construction-Assembly Works. Content, Preparation Procedure, Finalization and Approval of Flow Diagrams. Minsk, Ministry of Architecture and Construction, 2009. 13 (in Russian).
9. Koloskov V. N., Oleynik P. P., Tikhonov A. F. (2004) *Dismantling of Domestic Buildings and Recycling of their Structures and Materials for Reuse*. Moscow, ACB Publishing House. 200 (in Russian).
10. Chernoiivan V. N. (2013) *Work Execution Plan for Dismantling of Lime Shop: JSC "Berezovsky KSI"*. Brest: BrGTU [Brest State Technical University]. 117 (in Russian).

Received: 14.01.2014

Accepted: 17.03.2014

Published online: 30.03.2016

УДК 628.89+692.833

Проектирование конструктивных солнцезащитных устройств

Канд. техн. наук, доц. Л. В. Борухова¹⁾, асп. А. С. Шибeko¹⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2016
Belarusian National Technical University, 2016

Реферат. Показано определение размеров стационарных горизонтальных (козырьков) и вертикальных (ребер) солнцезащитных устройств для уменьшения поступления прямой солнечной радиации в помещения в теплый период года. При анализе формул для коэффициента инсоляции получены уравнения для определения размеров перпендикулярных и наклонных к плоскости проема козырьков и ребер для интенсивно облучаемых световых проемов, ориентированных на юг, юго-восток, юго-запад, восток и запад. Наименьшие размеры имеют наклонные козырьки, причем угол наклона относительно плоскости проема должен соответствовать высоте стояния солнца в час, когда удельный тепловой поток прямой солнечной радиации максимален. Рассмотрено влияние козырьков и ребер на пропускание рассеянной солнечной радиации, которая наряду с прямой солнечной радиацией служит для создания в помещении естественной освещенности. В результате анализа формул сделан вывод о неэффективности вертикальных элементов затенения в связи с большими размерами ребер и уменьшением пропускания рассеянного солнечного излучения. Для различных ориентаций определены минимальные расстояния от откоса светового проема до козырька исходя из того, что в холодный период года с целью уменьшения затрат теплоты на отопление помещения проем должен быть максимально освещен прямой солнечной радиацией. На основании анализа зависимостей сделан вывод, что проектировать стационарные солнцезащитные устройства целесообразно для проемов, ориентированных только на юг, причем это должны быть наклонные козырьки. Для проемов, ориентированных на другие стороны света, для уменьшения теплопоступлений от солнечного излучения необходимо подбирать остекление с малым значением солнечного фактора.

Ключевые слова: солнцезащитные устройства, прямая и рассеянная солнечная радиация, световой проем

Для цитирования: Борухова, Л. В. Проектирование конструктивных солнцезащитных устройств / Л. В. Борухова, А. С. Шибeko // *Наука и техника*. 2016. Т. 15, № 2. С. 107–114

Designing of Constructive Shading Devices

L. V. Borukhava¹⁾, A. S. Shybeka¹⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. The paper shows how to determine dimensions of stationary horizontal (canopies) and vertical (ribs) shading devices in order to prevent penetration of normal beam solar radiation into the buildings during warm season of the year. While analyzing formulae for insolation rate equations for determination of dimensions of canopies and ribs which are perpendicular and inclined to the plane of intensively irradiated fenestrations orientated to the South, South-East, South-West, East and West have been obtained in the paper. Sloping canopies have the smallest dimensions. What is more, an angle of slope with regard to opening plane must correspond to elevation of sun station at an hour when there is a maximum specific heat flow rate of normal beam solar radiation. The paper considers an influence of canopies and ribs on transmission of diffuse solar radiation which along with normal beam solar radiation serves for creation of natural illumination. As follows from the analysis of formulae it is possible to make a conclusion about an inefficiency of vertical shading elements due to large rib dimensions and decrease in transmission of diffuse solar radiation. Minimum distances from fenestration reveal to the canopy have been determined for various orientations proceeding from the position that the opening must be maximally illuminated by normal

Адрес для переписки

Борухова Лилия Владимировна
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 150,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 265-97-29
tg_v_fes@bntu.by

Address for correspondence

Borukhava Liliya V.
Belarusian National Technical University
150 Nezavisimosty Ave.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 265-97-29
tg_v_fes@bntu.by

beam solar radiation during the cold season of a year in order to reduce heat inputs for building heating. On the basis of dependence analysis we have come to a conclusion that it is appropriate to design stationary shading devices for fenestrations orientated only to the South and they must be sloping canopies. It is necessary to select glazing with a small index of solar factor for openings orientated to other corners of the Earth and reduction of solar radiation heat inputs.

Keywords: shading devices, normal beam and diffuse solar radiation, fenestration

Forcitation: Borukhava L. V., Shybeko A. S. (2016) Designing of Constructive Shading Devices. *Science & Technique*. 15 (2), 107–114 (in Russian)

При проектировании зданий необходимо стремиться к снижению воздухообменов и затрат энергоресурсов на системы вентиляции и кондиционирования воздуха. Реализовать данные задачи можно за счет различных мероприятий: расположение зданий по сторонам света; архитектурно-планировочные решения; совершенствование методики расчета теплопоступлений в теплый период года; рациональные схемы организации воздухообмена и воздухо-распределения.

Для условий Беларуси вполне осуществима задача поддержания требуемых параметров микроклимата в помещениях без применения систем кондиционирования воздуха. Одним из таких направлений может быть подбор оптимальных размеров конструктивных солнцезащитных устройств.

Конструктивные солнцезащитные устройства должны быть запроектированы таким образом, чтобы в теплый период года обеспечивать требуемый световой климат в помещении при минимизации поступления прямого солнечного излучения, так как за счет прямого солнечного излучения в помещение поступает большее количество теплоты, чем от рассеянной солнечной радиации. Значения удельных тепловых потоков падающего излучения для условий Беларуси приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения удельного теплового потока
солнечной радиации, падающей на вертикальные
ограждения (для 54° с. ш.) [1]

Values of specific heat flow
of solar radiation incident on vertical enclosures
(for 54° of latitude north of the equator) [1]

Ориентация	Удельный тепловой поток, Вт/м²	
	прямой солнечной радиации S	рассеянной солнечной радиации D
Ю	451	123
ЮВ/ЮЗ	535	154
В/З	614	174

Для расчета необходимых размеров конструктивных солнцезащитных устройств нужно, чтобы коэффициент инсоляции – отношение освещенной прямым излучением площади к общей площади окна – стремился к нулю. Для вертикальных заполнений световых проемов коэффициент инсоляции рассчитывается по выражению

$$k_{\text{инс.в}} = k_{\text{инс.в}}^{\text{в}} k_{\text{инс.в}}^{\text{г}} = \left(1 - \frac{\frac{L_{\text{г}} \operatorname{tg} h}{\cos A_{\text{с.о}}} - a}{H} \right) \left(1 - \frac{L_{\text{в}} \operatorname{tg} A_{\text{с.о}} - c}{B} \right), \quad (1)$$

где $k_{\text{инс.в}}^{\text{в}}$, $k_{\text{инс.в}}^{\text{г}}$ – вертикальная и горизонтальная составляющие коэффициента инсоляции; $L_{\text{г}}$, $L_{\text{в}}$ – размер горизонтального и вертикального элементов затенения (рис. 1, 2), м; $A_{\text{с.о}}$ – солнечный азимут остекления, град., определяемый в зависимости от азимута солнца и ориентации заполнения светового проема (рис. 1, 2); h – высота стояния солнца, град. (рис. 1, 2); a , c – расстояние от горизонтального и вертикального элементов затенения до откоса светового проема (рис. 1, 2), м; H , B – высота и ширина светового проема, м (рис. 1, 2).

Для того чтобы проем находился в тени, необходимо, чтобы одна из величин, стоящих в скобках, была равна нулю. Рассмотрим поочередно каждую из величин.

Исходя из первого сомножителя в (1), можно определить требуемый для нахождения светового проема в тени размер горизонтального элемента затенения

$$L_{\text{г}} = (H + a) \frac{\cos A_{\text{с.о}}}{\operatorname{tg} h}. \quad (2)$$

Исходя из рис. 2, вынос козырька $L_{\text{к}}$ составляет

$$L_{\text{к}} = L_{\text{г}} - \Delta, \quad (3)$$

где Δ – расстояние от наружной поверхности ограждения до внутренней поверхности окна, м.

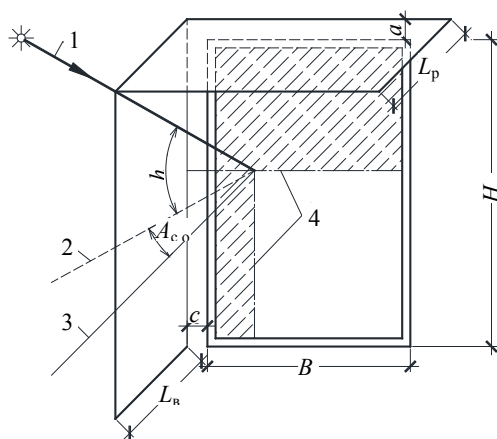


Рис. 1. К определению коэффициента инсоляции [2, 3]:

1 – направление солнечного луча; 2 – горизонтальная проекция солнечного луча; 3 – нормаль к плоскости заполнения светового проема; 4 – границы тени от солнцезащитных устройств на поверхности заполнения

Fig. 1. Determination of insolation coefficient of [2, 3]:

1 – direction of solar beam; 2 – horizontal projection of solar beam; 3 – normal to surface of fenestration filling; 4 – shadow borders of shading devices on the filling surface

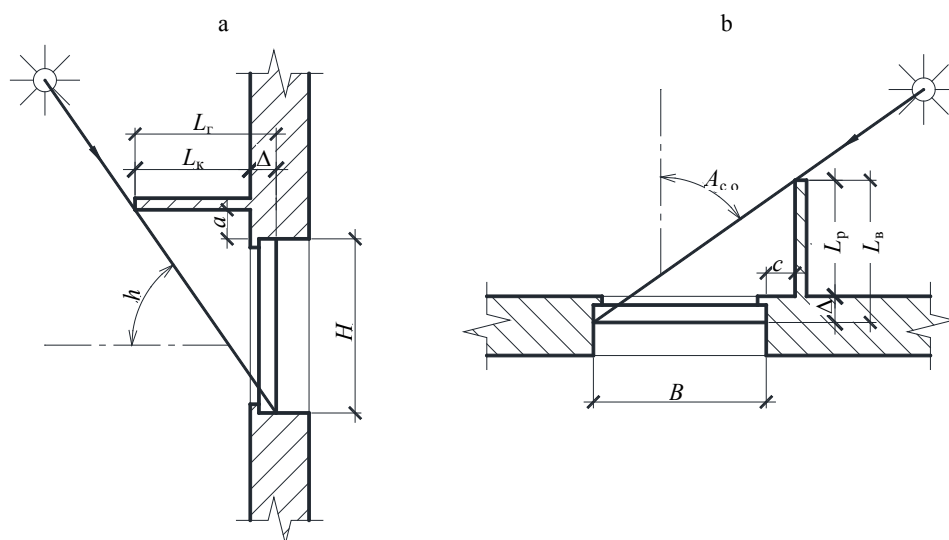


Рис. 2. Схема конструктивных горизонтальных (а) и вертикальных (б) солнцезащитных устройств, перпендикулярных к плоскости светового проема: L_k – вынос козырька; L_p – то же ребра

Fig. 2. Scheme of constructive horizontal (a) and vertical (b) shading devices being perpendicular to fenestration surface:

L_k – canopy (visor) overhanging; L_p – rib overhanging

Наибольшие тепlopоступления происходят в час максимума, поэтому, воспользовавшись данными табл. 2, получим оптимальные значения выноса козырька L_k для каждой из сторон света:

- для южной

$$L_k = 0,67(H + a) - \Delta; \quad (4)$$

- для юго-восточной и юго-западной

$$L_k = 1,20(H + a) - \Delta; \quad (5)$$

- для восточной и западной

$$L_k = 1,72(H + a) - \Delta. \quad (6)$$

Таблица 2

Время максимума солнечной радиации $z_{\max}$, высота стояния солнца h и солнечный азимут остекления $A_{c.o}$ в январе и июле [3, 4]

Time of solar radiation maximum $z_{\max}$, solar height h and solar glazing azimuth $A_{c.o}$ in January and July [3, 4]

Ориентация	Январь			Июль		
	$z_{\max}$, ч	h , град.	$A_{c.o}$, град.	$z_{\max}$, ч	h , град.	$A_{c.o}$, град.
Ю	12	16	0	12	56	0
ЮВ	10–11	14	23	8–9	37	25
ЮЗ	13–14			15–16		
В	9–10	10	54	7–8	30	6
З	14–15			16–17		

Рассматривая второй сомножитель в (1), определим требуемый для нахождения светового проема в тени вынос ребра

$$L_b = (B + c) \operatorname{ctg} A_{c.o}. \quad (7)$$

Аналогично расчету козырька получим оптимальные значения выноса ребра:

- для южной стороны

$$L_b = \infty; \quad (8)$$

- для юго-восточной и юго-западной

$$L_p = 2,14(B + c) - \Delta; \quad (9)$$

- для восточной и западной

$$L_p = 9,51(B + c) - \Delta. \quad (10)$$

Анализируя (8)–(10), можно сделать вывод, что проектировать вертикальные, перпендикулярные к плоскости окна ребра для полного затенения светового проема нецелесообразно в связи со значительными величинами выноса ребра.

Полученные выражения (4)–(10) справедливы для перпендикулярных к плоскости окна затеняющих устройств. Рассмотрим расчет наклонных стационарных солнцезащитных устройств (рис. 3).

Для наклонного козырька по теореме синусов получим (рис. 3а)

$$\frac{L_r - \Delta}{\sin(90^\circ + \alpha - h)} = \frac{L_{h.k.}}{\sin h}, \quad (11)$$

откуда

$$L_{h.k.} = (L_r - \Delta) \frac{\sin h}{\cos(\alpha - h)}. \quad (12)$$

С другой стороны, исходя из длины тени от горизонтального элемента затенения:

$$L_r = (H + a) \operatorname{ctg} h \cos A_{c.o}. \quad (13)$$

Подставляя (13) в (12), получим:

$$\begin{aligned} L_{h.k.} &= ((H + a) \operatorname{ctg} h \cos A_{c.o} - \Delta) \frac{\sin h}{\cos(\alpha - h)} = \\ &= \frac{(H + a) \cosh \cos A_{c.o} - \Delta \sin h}{\cos(\alpha - h)}. \end{aligned} \quad (14)$$

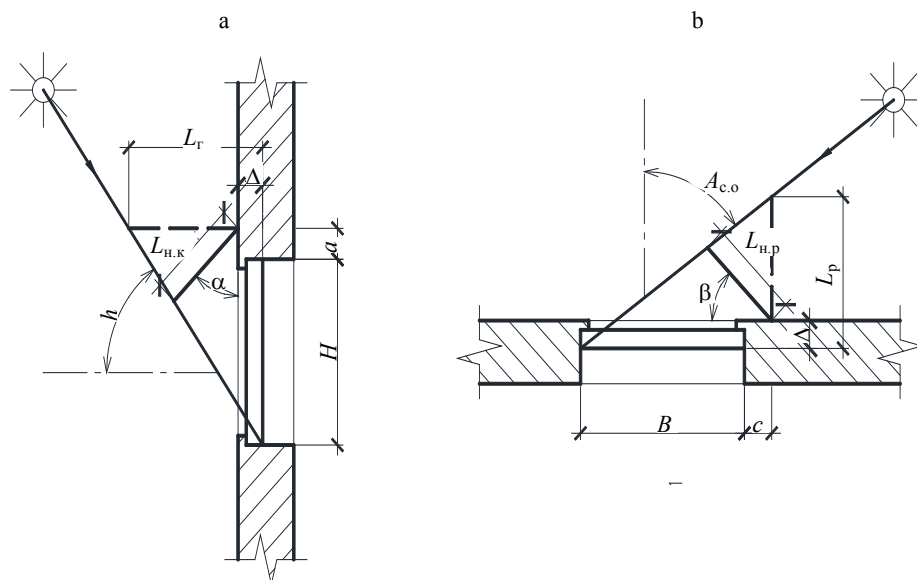


Рис. 3. Схема стационарных горизонтальных (а) и вертикальных (б) солнцезащитных устройств, наклонных к плоскости светового проема:

$L_{h.k.}$, $L_{h.p}$ – длина козырька и ребра; α , β – угол наклона козырька и ребра

Fig. 3. Scheme of stationary horizontal (a) and vertical (b) shading devices inclined to fenestration surface:

$L_{h.k.}$ – canopy (visor) length; $L_{h.p}$ – rib length; α – canopy (visor) slope angle; β – rib slope angle

Анализируя выражение (14), можно заметить, что наименьшая длина наклонного козырька $L_{н.к}$ будет при значении стоящего в знаменателе косинуса, равном единице, т. е. когда угол наклона козырька равен высоте стояния солнца. Обозначив данный угол как оптимальный $\alpha_{опт}$, можно найти наименьшую длину наклонного козырька.

Выражения для расчета длины наклонного козырька при различных углах наклона, оптимальные углы наклона и длины козырька при оптимальных углах наклона для разных ориентаций светового проема приведены в табл. 3.

Таблица 3

Длина наклонного козырька $L_{н.к}$ при угле наклона α , оптимальные углы наклона $\alpha_{опт}$ и длина козырька при оптимальных углах наклона $L_{н.к}^{min}$

Length of sloping canopy (visor) $L_{н.к}$ at slope angle α , optimum slope angles $\alpha_{опт}$ and canopy (visor) length at optimum slope angles $L_{н.к}^{min}$

Ориентация	$L_{н.к}$, м	$\alpha_{опт}$, град.	$L_{н.к}^{min}$, м
Ю	$(0,56(H+a) - 0,83\Delta)/\cos(\alpha - 56)$	56	$0,56(H+a) - 0,83\Delta$
ЮВ/ЮЗ	$(0,72(H+a) - 0,6\Delta)/\cos(\alpha - 37)$	37	$0,72(H+a) - 0,6\Delta$
В/З	$(0,86(H+a) - 0,5\Delta)/\cos(\alpha - 30)$	30	$0,86(H+a) - 0,5\Delta$

Аналогично для наклонного ребра (рис. 3б)

$$\begin{cases} \frac{L_{н.р} - \Delta}{\sin(90^\circ + \beta - A_{с.о})} = \frac{L_{н.р}}{\sin A_{с.о}}, \\ L_{н.р} = (B+c) \operatorname{ctg} A_{с.о}. \end{cases} \quad (15)$$

Решив данную систему уравнений, получим:

$$\begin{aligned} L_{н.р} &= ((B+c) \operatorname{ctg} A_{с.о} - \Delta) \frac{\sin A_{с.о}}{\cos(\beta - A_{с.о})} = \\ &= \frac{(B+c) \cos A_{с.о} - \Delta \sin A_{с.о}}{\cos(\beta - A_{с.о})}. \end{aligned} \quad (16)$$

Как видно из (16), минимальная длина наклонного ребра будет при угле наклона ребра, равном солнечному азимуту остекления, т. е. $\beta_{опт} = A_{с.о}$.

Выражения для расчета длины наклонного ребра при различных углах наклона, оптимальные углы наклона и длина ребра при оптимальных углах наклона для разных ориентаций светового проема приведены в табл. 4.

Из табл. 4 видно, что проектирование вертикальных наклонных целесообразно только при малых углах наклона. В связи с этим необходимо проследить влияние затеняющих устройств на поступление рассеянной солнечной радиации, которая наряду с прямой солнечной радиацией создает в помещении естественную освещенность.

Таблица 4

Длина наклонного ребра $L_{н.р}$ при угле наклона β , оптимальные углы наклона $\beta_{опт}$ и длина ребра при оптимальных углах наклона $L_{н.р}^{min}$

Length of slope rib $L_{н.р}$ at slope angle β , optimum slope angles $\beta_{опт}$ and rib length at optimum slope angles $L_{н.р}^{min}$

Ориентация	$L_{н.р}$, м	$\beta_{опт}$, град.	$L_{н.р}^{min}$, м
Ю	$(B+c)/\cos\beta$	0	$B+c$
ЮВ/ЮЗ	$(0,91(B+c) - 0,42\Delta)/\cos(\beta - 25)$	25	$0,91(B+c) - 0,42\Delta$
В/З	$(B+c - 0,1\Delta)/\cos(\beta - 6)$	6	$B+c - 0,1\Delta$

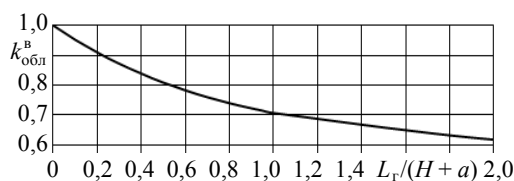
Учет поступления рассеянной солнечной радиации на поверхность заполнения светового проема производится с помощью коэффициента облученности $k_{обл}$, который представляет собой произведение вертикальной $k_{обл}^B$ и горизонтальной $k_{обл}^Г$ составляющих:

$$k_{обл} = k_{обл}^B k_{обл}^Г. \quad (17)$$

Вертикальная составляющая рассчитывается по выражению [5, 6]

$$k_{обл}^B = 0,5 \left(1 - \frac{L_r}{H+a} + \sqrt{1 + \left(\frac{L_r}{H+a} \right)^2} \right). \quad (18)$$

Зависимость вертикальной составляющей коэффициента облученности от отношения $L_r/(H+a)$ изображена на рис. 4.

Рис. 4. Зависимость $k_{obl}^B = f(L_r/(H+a))$ Fig. 4. Dependence $k_{obl}^B = f(L_r/(H+a))$

Как видно из рис. 4, при увеличении отношения $L_r/(H+a)$ вертикальная составляющая коэффициента облученности уменьшается. Определим, каков будет коэффициент облученности при нахождении проема в тени от горизонтального элемента затенения. Для этого подставим (13) в (18):

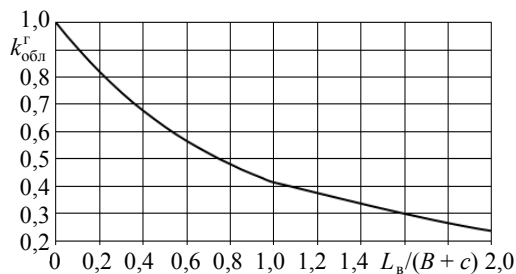
$$k_{obl}^B = 0,5 \left(1 - \operatorname{ctgh} \cos A_{c.o} + \sqrt{1 + (\operatorname{ctgh} \cos A_{c.o})^2} \right). \quad (19)$$

Подставив соответствующие для ориентации светового проема значения h и $A_{c.o}$, получим, что для южной стороны $k_{obl}^B = 0,77$, для юго-восточной и юго-западной $k_{obl}^B = 0,68$ и для восточной и западной $k_{obl}^B = 0,63$.

Горизонтальная составляющая рассчитывается по формуле [5, 6]

$$k_{obl}^r = \sqrt{1 + \left(\frac{L_b}{B+c} \right)^2} - \frac{L_b}{B+c}. \quad (20)$$

Зависимость горизонтальной составляющей коэффициента облученности от отношения $L_b/(B+c)$ изображена на рис. 5.

Рис. 5. Зависимость $k_{obl}^r = f(L_b/(B+c))$ Fig. 5. Dependence $k_{obl}^r = f(L_b/(B+c))$

Как и вертикальная составляющая, при увеличении $L_b/(B+c)$ горизонтальная составляющая коэффициента облученности уменьшается,

причем уменьшение происходит значительно быстрее. Аналогично k_{obl}^B определим значения k_{obl}^r при нахождении проема в тени от ребра. Подставив (7) в (20), получим:

$$k_{obl}^r = \sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2 A_{c.o}} - \operatorname{ctg} A_{c.o} = \frac{1}{\sin A_{c.o}} - \operatorname{ctg} A_{c.o} = \frac{1 - \cos A_{c.o}}{\sin A_{c.o}}. \quad (21)$$

Подставив соответствующие значения $A_{c.o}$ для каждой из ориентаций светового проема, получим, что для южной стороны $k_{obl}^r = 0$, для юго-восточной и юго-западной $k_{obl}^r = 0,22$ и для восточной и западной $k_{obl}^r = 0,05$.

Проводя анализ полученных данных, можно убедиться в том, что горизонтальное затенение наиболее эффективно для уменьшения прямой солнечной радиации, поступающей на поверхность остекления. При проектировании необходимо стремиться, чтобы размер горизонтальных элементов затенения был равен рассчитанным по (4)–(6) при перпендикулярных козырьках или по выражениям в табл. 3 при наклонных. Вертикальные элементы затенения при этом не нужны, так как они в меньшей степени снижают поступление на вертикальную поверхность прямого солнечного излучения. При расчете коэффициента инсоляции в качестве длины вертикальной солнцезащиты необходимо учитывать расстояние от наружной поверхности ограждения до внутренней поверхности окна, т. е. $L_b = \Delta$.

Для определения оптимальных значений отступа горизонтальной солнцезащиты от откоса светового проема a необходимо рассмотреть изменение коэффициента инсоляции для условий января. В холодный период года для уменьшения затрат на отопление здания нужно, чтобы коэффициент инсоляции был равен единице. Обозначим высоту солнца и солнечный азимут остекления в январе соответственно h^I и $A_{c.o}^I$, а в июле h^{VII} и $A_{c.o}^{VII}$. Формула требуемого размера горизонтального элемента затенения для июля примет вид

$$L_r = (H+a) \frac{\cos A_{c.o}^{VII}}{\operatorname{tg} h^{VII}}. \quad (22)$$

Определим зависимость первого сомножителя в (1) для января. Для этого подставим в (1) выражение (22) и приравняем к единице:

$$1 - \frac{(H + a) \cos A_{c.o}^{VII} \operatorname{tg} h^I}{\operatorname{tg} h^{VII} \cos A_{c.o}^I} = 1; \quad (23)$$

$$\frac{(H + a) \cos A_{c.o}^{VII} \operatorname{tg} h^I}{\operatorname{tg} h^{VII} \cos A_{c.o}^I} = a. \quad (24)$$

Откуда

$$\frac{a}{H} = \frac{1}{\frac{\operatorname{tg} h^{VII} \cos A_{c.o}^I}{\operatorname{tg} h^I \cos A_{c.o}^{VII}} - 1}. \quad (25)$$

Подставив соответствующие значения углов, получим, что оптимальный отступ козырька от откоса оконного проема составляет:

- для южной стороны

$$a = 0,24H; \quad (26)$$

- для юго-восточной и юго-западной

$$a = 0,48H; \quad (27)$$

- для восточной и западной

$$a = 1,07H. \quad (28)$$

Анализируя выражения (26)–(28) совместно с (4)–(6) и данными табл. 3, можно сделать вывод, что рациональнее проектировать козырьки с южной стороны в связи с небольшими значениями выноса и отступа козырька от светового проема. Причем меньшими размерами будет обладать наклонный к плоскости проема козырек [7–11]. Для прочих ориентаций размеры будут значительны, и для них уменьшить тепlopоступления от солнечной радиации можно с помощью применения остекления с малым значением солнечного фактора. Однако полностью отказываться от солнцезащитных устройств не следует, так как они дополнительно уменьшают тепlopоступления через световые проемы.

ВЫВОДЫ

1. Для уменьшения тепlopоступлений от солнечной радиации через световые проемы

необходимо устраивать наружные солнцезащитные устройства. Наименьшими размерами будут обладать наклонные к плоскости светового проема козырьки, причем минимальные размеры будут соответствовать углу наклона, равному высоте стояния солнца в расчетный час.

2. Проектировать вертикальные солнцезащитные устройства нецелесообразно в связи со значительными величинами выноса ребра для полного затенения проема. При этом также сокращается поступление рассеянной солнечной радиации, которая служит для создания естественной освещенности.

3. Целесообразно проектировать козырьки для проемов, ориентированных только на юг. При прочих ориентациях вылет козырька и отступ от откоса светового проема могут быть большими. Поэтому снижения тепlopоступлений лучше добиваться использованием остекления с малым значением солнечного фактора. Для дополнительного уменьшения тепlopоступлений от солнечной радиации возможно применение солнцезащитных устройств с меньшими размерами, чем требуются для полного затенения проема.

ЛИТЕРАТУРА

1. Строительная климатология: справ. пособие к СНиП 23-01-99* / М. И. Краснов [и др.]; под ред. В. К. Савина. М.: НИИ строительной физики РААСН, 2006. 258 с.
2. Богословский, В. Н. Тепловой режим здания / В. Н. Богословский. М.: Стройиздат, 1979. 248 с.
3. Внутренние санитарно-гигиенические устройства: в 3 ч. / В. Н. Богословский [и др.]; под ред. Н. Н. Павлова и Ю. И. Шиллера. М.: Стройиздат, 1992. Ч. 3: Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 1. 319 с.
4. Круглова, А. И. Климат и ограждающие конструкции / А. И. Круглова. М.: Стройиздат, 1970. 166 с.
5. Богословский, В. Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха) / В. Н. Богословский. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1982. 415 с.
6. Кутателадзе, С. С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление / С. С. Кутателадзе. М.: Энергоатомиздат, 1990. 367 с.
7. Блэзи, В. Справочник проектировщика. Строительная физика / В. Блэзи; пер. с нем. под ред. А. К. Соловьева. М.: Техносфера, 2012. 616 с.
8. Гусев, Н. М. Строительная физика / Н. М. Гусев, П. П. Климов. М.: Стройиздат, 1965. 227 с.

9. Расчет поступления теплоты солнечной радиации в помещение: пособие 2.91 к СНиП 2.04.05–91. Введено в действие 01.01.1993. М.: Промстройпроект, 1993. 35 с.
10. Рекомендации по выбору оптимальной теплоизоляции ограждений гражданских зданий на территории Украинской ССР / Гос. комитет по гражд. стр-ву и архитектуре при Госстрое СССР. Зон. науч.-исслед. и проектный ин-т типового и эксперим. проектирования жилых и обществ. зданий. Киев: КиевЗНИИЭП, 1973. 30 с.
11. Теплоснабжение и вентиляция: курсовое и дипломное проектирование / Б. М. Хрусталева [и др.]; под общ. ред. Б. М. Хрусталева. 3-е изд., испр. и доп. М.: Изд-во АСВ, 2008. 784 с.

Поступила 20.10.2015

Подписана в печать 15.12.2015

Опубликована онлайн 30.03.2016

REFERENCES

1. Krasnov M. I., Shubin I. L., Volkova N. G., Kozina D. A., Kolesnikov V. P. (2006) *Construction Climatology. Reference Aid for SNiP (Construction Rules and Regulations) 23-01–99**. Moscow: Scientific-Research Institute of Building Physics, Russian Academy of Architecture and Construction Sciences. 258 (in Russian).
2. Bogoslovskiy V. N. (1979) *Thermal Conditions of Building*. Moscow, Stroyizdat. 248 (in Russian).
3. Bogoslovskiy V. N., Pirumov A. I., Posokhin V. N., Berezina N. I., Dvinianikov V. V., Egiazarov A. G., Krupnov B. A., Leskov E. A., Fialkovskaia T. A., Shapritskii V. N., Shilkrot E. O., Aleksandrov A. I., Kushelman G. S., Moor L. F., Moshkin V. I., Nevskii V. V., Orlov V. A., Petrov B. S., Pylaev E. N., Pavlov N. N., Shil'er Iu. I. (1992) *Internal Sanitary-Hygienic Devices. Part. 3.*

Book 1. Ventilation and Air Conditioning. 319 (in Russian).

4. Krouglova A. I. (1970) *Climate and Enclosing Structures*. Moscow, Stroyizdat. 166 (in Russian).
5. Bogoslovskiy V. N. (1982) *Thermal Building Physics (Thermo-Physical Principles for Heating, Ventilation and Air Conditioning)*. 2nd ed. Moscow, Vysshaya Shkola. 415 (in Russian).
6. Koutateladze S. S. (1990) *Heat Transfer and Hydro-Dynamic Resistance*. Moscow, Energoatomizdat. 367 (in Russian).
7. Blasi W. (2012) *Design Reference Book. Building Physics*. Moscow, Tekhnosfera. 616 (in Russian).
8. Gusev N. M., Klimov P. P. (1965) *Building Physics*. Moscow, Stroyizdat. 227 (in Russian).
9. Calculation of Solar Radiation Heat Supply into a Building. Reference Aid 2.91 for SNiP (Construction Rules and Regulations) 2.04.05–91. Moscow: Promstroyproekt, 1993. 35 (in Russian).
10. State Committee on Civil Engineering and Architecture Attached to USSR State Committee for Construction. Zonal Scientific-Research and Design Institute for Standardized and Experimental Design of Domestic Premises and Communal Buildings (1973) *Recommendations on Selection of Optimum Heat Insulation for Enclosures of Civil Buildings on the Territory of the Ukrainian Soviet Socialist Republic*. Kiev, KievZNIIEP. 30 (in Russian).
11. Khroustalev B. M., Kuvshinov Iu. Ia., Kopko V. M., Mikhalevich A. A., Diachek P. I., Pokotilov V. V., Senkevich E. V., Borukhava L. V., Piliushenko V. P., Bazylenko G. I., Iurkov O. I., Artikhovich V. V., Pshonik M. G. (2008) *Heat Supply and Ventilation. Course and Diploma Designing*. 3rd ed. Moscow, ASV. 784 (in Russian).

Received: 20.10.2015

Accepted: 15.12.2015

Published online: 30.03.2016

УДК 621.643.2;624.13;620.17 (088.8)

Строительный самодвижущийся пневмопробойник со стопорным механизмом

Инж. В. К. Передерей¹⁾¹⁾Кировоградский национальный технический университет (Кировоград, Республика Украина)© Белорусский национальный технический университет, 2016
Belarusian National Technical University, 2016

Реферат. Показан один из возможных методов увеличения производительности и надежности строительных самодвижущихся пневмопробойников, предназначенных для образования бестраншейным методом скважин в грунте при строительстве различных инженерных коммуникаций под автомобильными, трамвайными и железнодорожными путями, взлетными полосами аэродромов. Представлена новая конструкция строительного пневмопробойника с увеличенной производительностью за счет повышения скорости образования скважин в грунте и надежности конструкции. Аналитическим методом получена формула для определения увеличения перемещения пневмопробойника новой конструкции в сравнении с традиционной. Приведены конструкция и принцип работы самодвижущегося строительного пневмопробойника, который для устранения действия упругих сил грунта и реактивной силы отдачи снабжен стопорным механизмом, удерживающим пневмопробойник в скважине. Пневмопробойник содержит корпус с наковальней, подвижный ударник, патрубок, установленный в осевом углублении ударника, гайку и стопорный механизм. Повышение эксплуатационной надежности пневмоударника достигается благодаря тому, что стопорный механизм выполнен в виде двух коаксиально расположенных стаканов с общим основанием – внешнего и внутреннего. В середине внутреннего стакана установлены поршень, пружина над поршнем, шток с тормозным башмаком на конце. Высота внутреннего стакана меньше высоты внешнего, а между ними имеется кольцевая полость, которая сообщена с камерой, образованной поршнем, внутренним стаканом и патрубком. Кольцевая полость через отверстие, выполненное в стенке внешнего стакана, два сильфона, канал в торце гайки и отверстие, которое выполнено в вертикальной стенке патрубка, соединена с камерой рабочего хода. Сильфоны расположены между внешним стаканом и гайкой, между гайкой и патрубком. Составлены дифференциальные уравнения движения пневмопробойника в грунте, решением которых получена формула для определения увеличения перемещения пневмопробойника со стопорным механизмом и без него.

Ключевые слова: строительный самодвижущийся пневмопробойник, грунт, скважина, упругие силы грунта, реактивные силы отдачи, стопорный механизм, дифференциальные уравнения, перемещение

Для цитирования: Передерей, В. К. Строительный самодвижущийся пневмопробойник со стопорным механизмом / В. К. Передерей // *Наука и техника*. 2016. Т. 15, № 2. С. 115–121

Construction Self-Propelled Pneumopunchers with Locking Mechanism

V. K. Perederey¹⁾¹⁾Kirovograd National Technical University (Kirovograd, Republic of Ukraine)

Abstract. The paper reveals one of possible methods for higher productivity and reliability of building self-propelled pneumopunchers which are intended for making holes in soil while using trenchless method and constructing various engineering communications under car, tram and rail lines, airport runways. A new design of building pneumopuncher with increased productivity due to higher speed for hole formation in soil and its reliability has been presented in the paper. A formula for determination of displacement increment for a new pneumopuncher in comparison with the conventional one has been obtained in the paper. The paper describes a design and operation principal of the building self-propelled pneumopuncher which

Адрес для переписки

Передерей Виктор Константинович
Кировоградский национальный технический университет
ул. Октябрьской Революции, 1,
25006, г. Кировоград, Республика Украина
Тел.: +380 95 741-08-21
perederej.viktor@inbox.ru

Address for correspondence

Perederey Viktor K.
Kirovograd National Technical University
1 Oktyabrskaya Revolutsiya str.,
25006, Kirovograd, Republic of Ukraine
Тел.: +380 95 741-08-21
perederej.viktor@inbox.ru

is equipped with a locking mechanism with the purpose to neutralize action of soil elastic forces and reactive repulsive force. The locking mechanism keeps the pneumopuncher in the hole. The pneumopuncher consists of a body with anvil, movable hammer, a manifold which is set in axial deepening of the hammer, a nut and a locking mechanism. Improvement of operational pneumopuncher reliability is attained due to the fact that the locking mechanism is made in the form of two coaxially positioned inner and outer cups having a common basis. A piston is installed in the middle of the inner cup, a spring is fixed over the piston and a rod with a breaking shoe is positioned at the end. Height of the inner cup is less the outer cup height and there is an annular cavity between them which is connected with a chamber. The chamber is formed by the piston, the inner cup and the manifold. The annular cavity through an opening in the inner cup wall, two sylphons, a channel in the nut end and an opening in the vertical wall of the manifold are connected with a chamber of operating stroke. The sylphons are placed between the outer cup and the nut, between the nut and the manifold. Differential equations for movement of pneumopuncher in soil have been compiled. While solving the equations a formula for determination of increase in displacement of the pneumopuncher with the locking mechanism and without it has been obtained in the paper.

Keywords: building self-propelled pneumopuncher, soil, hole, soil elastic forces, reactive repulsive force, locking mechanism, differential equation, displacement

Forcitation: Perederey V. K. Construction Self-Propelled Pneumopunchers with Locking Mechanism. *Science & Technique*. 15 (2), 115–121 (in Russian)

Разработкой и исследованием строительных самодвижущихся пневмопробойников для образования скважин в грунте занимались в Институте горного дела Сибирского отделения Российской академии наук (ИГД СО РАН) такие ученые, как А. Д. Костылев, К. С. Гурков, Б. Н. Смоляницкий, К. К. Тупицын, Х. Б. Ткач, Н. П. Чепурной, Г. А. Ткаченко, В. В. Климашко и др. Ими были разработаны основы теории, конструирования и расчета пневмопробойников [1–3], экспериментально исследовались рабочий цикл и режимы работы пневмопробойников [4, 5], прямолинейность пробивания скважин в грунтах [6] и процессы взаимодействия пневмопробойника с грунтом [7, 8].

Дальнейшее совершенствование конструкции пневмопробойников и улучшение их технических показателей в первую очередь должно быть направлено на увеличение скорости их движения, от которой зависит производительность. В рассмотренных работах [1–8] увеличение скорости в основном достигалось повышением энергии и частоты ударов и, следовательно, ударной мощности. Не учитывалось то, что скорость пневмопробойника значительно снижается в результате его выталкивания из скважины под действием упругих сил грунта и реактивной силы отдачи. Устранить этот недостаток можно применением стопорного механизма, исключающего обратное движение пневмопробойников из скважины [9, 10]. Серийно выпускаемые пневмопробойники конструкции ИГД СО РАН стопорного механизма не имеют.

Целью работы являлась разработка надежной конструкции стопорного механизма к пневмопробойнику с увеличенной производи-

тельностью, а также получение аналитическим методом формулы для определения увеличения перемещения пневмопробойника новой конструкции в сравнении с традиционной.

В [10] дан анализ существующих конструкций стопорных механизмов и отмечено, что их оптимальных вариантов пока не существует. Пневматический стопорный механизм [11] снижает скорость движения пневмопробойника, так как удерживающие пневмопробойник в скважине стопорные элементы постоянно находятся под действием сжатого воздуха и создают дополнительное сопротивление движению пневмопробойника в грунте.

Конструкция стопорного механизма с механическим управлением распорными лапами посредством стальных тросов, приведенная в [12], не обеспечивает достаточной надежности срабатывания захватов на расстоянии 40–50 м от находящегося в скважине пневмопробойника, особенно при изношенных деталях исполнительных механизмов такой системы управления. В целях исключения этого недостатка разработана конструкция стопорного механизма, где исключен механизм управления распорными лапами, функция которого выполняется автоматически изменением движения воздуха в камере рабочего хода [13].

Пневмопробойник (рис. 1) состоит из корпуса, ступенчатого ударника, воздухораспределительного патрубка и гайки. Патрубок выполнен с окнами и направляющим пояском, имеющим воздухораспределительные кромки 7 и 8. Передняя часть ударника и корпус образуют рабочую камеру холостого хода. Передняя ступень патрубка 10 входит во внутреннюю полость ударника и образует камеру рабочего

хода. Гайка, хвостовая часть корпуса, патрубок и торец ударника образуют камеру выхлопа (отвода отработавшего воздуха), которая постоянно сообщена с атмосферой сквозными каналами 13, выполненными в торце гайки. За пневмобойником на патрубке 3 смонтированы четыре стопорных механизма.

Стопорный механизм состоит из двух коаксиально расположенных стаканов – внешнего и внутреннего с общим основанием. Высота внутреннего стакана меньше высоты внешнего. Между стенками стаканов образована кольцевая полость. Во внутреннем стакане расположен поршень со штоком и тормозным башмаком на конце штока. В штоковой полости стакана установлена пружина. Поршень, стенка внутреннего стакана и патрубок 3 образуют камеру 23.

В стенке внешнего стакана выполнено отверстие 24, в котором закреплен один конец сильфона 25, а другой его конец – в одном из сквозных каналов 26, выполненных в торце гайки.

В вертикальной стенке передней ступени 10 воздухораспределительного патрубка 3 выполнены отверстия 27. Между передней ступенью 10 воздухораспределительного патрубка и гайкой расположены сильфоны 28, концы которых закреплены в отверстиях 27 и каналах 26.

Пневмобойник работает следующим образом. Сжатый воздух подается по патрубку 3 в камеру 11 и через окна поступает из нее в камеру 9. Давление в камере 12 постоянно и равно атмосферному. Таким образом, сжатый воздух со стороны камеры 9 действует на всю торцевую площадь ударника, а со стороны задней части пневмобойника – только на его меньшую ступень. Вследствие этого ударник начинает двигаться назад (на рис. 1а – вправо). При этом окна перекрываются кромкой 7 патрубка 3, и поступление сжатого воздуха в камеру 9 прекращается. Далее ударник двигается за счет расширения воздуха в камере 9 и за счет собственной инерции.

При дальнейшем движении ударника окна выходят за кромку 8 – происходит выхлоп сжатого воздуха из камеры 9 через окна в камеру 11 и через каналы 13 – в атмосферу. При этом давление в камере рабочего хода 11 повышается до сетевого давления воздуха, который подается

от компрессора к пневмобойнику. Возникающая сила отдачи будет стремиться двигать пневмобойник в направлении из скважины (особенно при работе в грунтах разной плотности и влажности, когда коэффициент трения грунта о корпус пневмобойника значительно уменьшается).

Через отверстия 27, сильфоны 28, каналы 26 и сильфоны 25 сжатый воздух из камеры рабочего хода через отверстие 24 во внешних стаканах стопорных механизмов попадает в кольцевые полости и в камеру 23 и действует на поверхность поршней. Вследствие этого поршни начинают двигаться вверх, сжимая пружины и прижимая тормозные башмаки к стенкам скважины, удерживая пневмобойник в ней.

Ударник останавливается давлением сжатого воздуха в камере 11, не совершая ударов по гайке, и начинает двигаться вперед (на рис. 1а – влево). Окна снова перекрываются кромкой 8, и давление воздуха в камере 11 остается равным сетевому. На пневмобойник продолжает действовать сила отдачи, а тормозные башмаки прижаты к стенкам скважины. Когда окна выйдут за кромку 7, сжатый воздух из камеры 11 снова будет поступать в камеру 9. Давление воздуха в камере 11 уменьшится, пружины будут действовать на поршни, перемещать их вниз и отводить тормозные башмаки от стенки скважины. Ударник будет двигаться по инерции и совершать удар по корпусу. Пневмобойник начинает внедряться в грунт и образовывать скважину, а стопорный механизм не препятствует его движению. Далее цикл повторяется.

Определим, насколько увеличивается перемещение пневмобойников со стопорным механизмом и без него. Под действием ударной нагрузки корпус пневмобойника перемещается вперед и образует скважину с уплотненными стенками. Возникающая при разгоне ударника пневмобойника реактивная сила отдачи $F_{отд}$ действует на корпус пневмобойника и компенсируется силой трения корпуса о грунт $F_{тр}$, что исключает обратные перемещения пневмобойника из скважины. Сила отдачи определяется давлением сжатого воздуха и площадью задней камеры машины. Движение пневмобойника вперед с образованием скважины возможно при наличии сил трения $F_{тр}$, превышающих силу отдачи $F_{отд}$ ($F_{тр} > F_{отд}$).

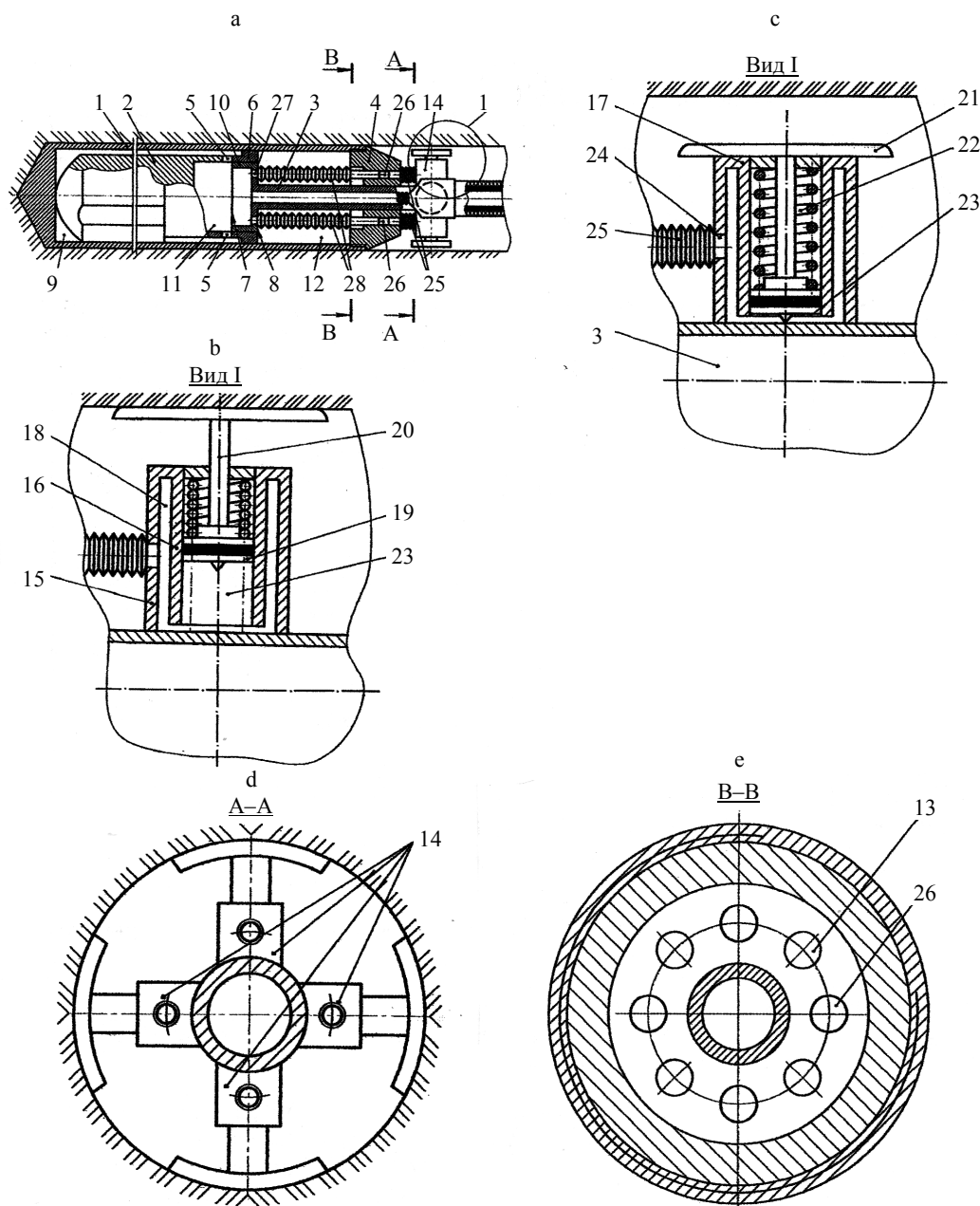


Рис. 1. Самодвижущийся пневмопробойник с пневматической системой управления стопорным механизмом:
 а – принципиальная схема; б – положение стопорного механизма при разгоне ударника; в – то же при выходе пневмопробойника из скважины; д – сечение А-А; е – то же В-В; 1 – корпус; 2 – ступенчатый ударник; 3 – патрубок; 4 – гайка; 5 – окна; 6 – направляющий пояс; 7, 8 – воздухораспределительные кромки; 9 – рабочая камера холостого хода; 10 – передняя ступень патрубка; 11 – камера рабочего хода; 12 – камера отвода отработавшего воздуха; 13, 26 – сквозные каналы; 14 – стопорный механизм; 15 – внешний стакан; 16 – внутренний стакан; 17 – основание стаканов; 18 – кольцевая полость; 19 – поршень; 20 – шток; 21 – тормозные башмаки; 22 – пружина; 23 – камера; 24, 27 – отверстие; 25, 28 – сильфоны

Fig. 1. Self-propelled pneumopuncher with pneumatic system to control locking mechanism: а – principal diagram; б – position of locking mechanism while picking-up the speed of hammer; в – position of locking mechanism when pneumopuncher is coming from hole; д – cross section A-A; е – cross section B-B; 1 – body; 2 – stepwise hammer; 3 – manifold; 4 – nut; 5 – windows; 6 – guiding rib; 7, 8 – air distribution rims; 9 – operating chamber of idle stroke; 10 – front cascade of manifold; 11 – chamber of operating stroke; 12 – chamber for exhaust air removal; 13, 26 – end-to-end channels; 14 – locking mechanism; 15 – outer cup; 16 – inner cup; 17 – basis for cups; 18 – annular cavity; 19 – piston; 20 – rod; 21 – breaking shoes; 22 – spring; 23 – chamber; 24, 27 – opening; 25, 28 – sylphons

В грунтах с неоднородной плотностью и повышенной влажностью из-за недостаточного сцепления корпуса с грунтом происходит отдача корпуса назад, что приводит к уменьшению скорости проходки скважины или полному отсутствию движения пневмопробойника вперед. Но этого условия для движения пневмопробойника в грунте недостаточно. Как показали экспериментальные исследования [7, 8], под действием ударного импульса корпус пневмопробойника перемещается вперед на расстояние S_{π} (рис. 2а). Его кинетическая энергия расходуется на преодоление сил трения, упругую и пластическую деформацию грунта. Затем под действием упругих сил грунта корпус пневмопробойника возвращается на некоторое расстояние $S_{упр}$ назад. Остаточное прямое перемещение пневмопробойника за один удар $S_{ост}$ определяет скорость проходки скважины: $S_{ост} = S_{\pi} - S_{упр}$. Отношение $S_{ост}/S_{\pi}$ в зависимости от условий работы пневмопробойника изменяется от 0 до 0,75. Второе условие движения пневмопробойника вперед: $S_{\pi} > S_{упр}$. Движение пневмопробойника со стопорным механизмом показано на рис. 2б, где отсутствует перемещение $S_{упр}$.

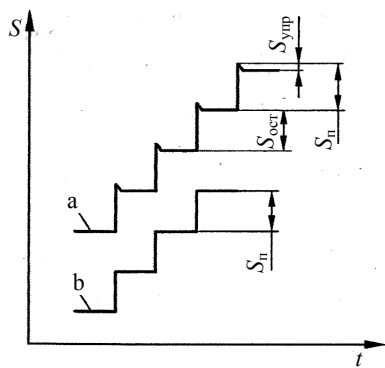


Рис. 2. Перемещение пневмопробойника в грунте:

а – без стопорного механизма;
б – со стопорным механизмом

Fig. 2. Pneumopuncher displacement in soil:

a – without locking mechanism; b – with locking mechanism

Движение пневмопробойника в грунте характеризуется нелинейным дифференциальным уравнением, решение которого в общем виде неизвестно. При теоретическом исследовании одного цикла взаимодействия пневмопробойника с грунтом обычно используют метод

начальных параметров. Для этого исследуемый процесс движения делят на ряд участков, на которых движения описываются линейными дифференциальными уравнениями. При решении таких уравнений принимают, что условия движения в конце рассматриваемого участка являются начальными условиями движения на следующем участке.

Условно цикл движения пневмопробойника можно разделить на три участка:

- 1) взаимодействие с грунтом при разгоне ударника;
- 2) взаимодействие с грунтом в момент соударения ударника с наковальной корпуса;
- 3) перемещение пневмопробойника в грунте под действием сил инерции.

Наиболее важны первые два участка, которые примем для анализа движения пневмопробойника, оборудованного стопорным механизмом.

В период разгона ударника (рис. 3а) на корпус пневмопробойника действуют силы: $F_{отд}$ – реактивная сила отдачи; $F_{тр}$ – равнодействующая сил трения грунта о цилиндрическую часть корпуса.

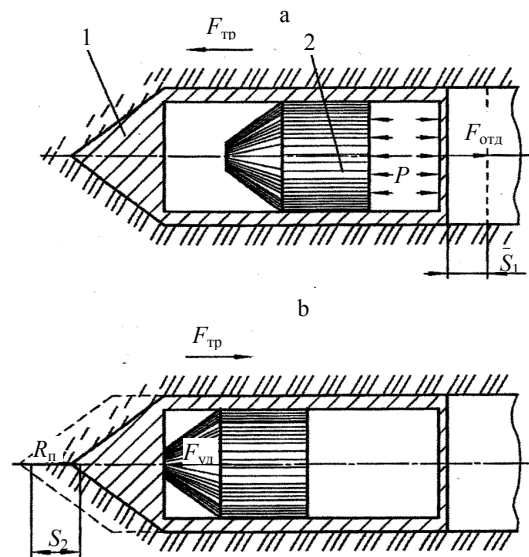


Рис. 3. Расчетная схема сил, действующих на пневмопробойник в грунте: а – период разгона ударника; б – момент соударения ударника с корпусом;
1 – корпус; 2 – ударник

Fig. 3. Calculation model for forces acting on pneumopuncher in soil: a – period of hammer speeding-up; b – moment of hammer collision with body;
1 – body; 2 – hammer

Под действием $F_{отд}$, если $F_{тр} < F_{отд}$, пневмопробойник будет перемещаться из скважины на величину S_1 , что описывается дифференциальным уравнением

$$m_k \frac{d^2 S_1}{dt^2} = -F_{отд} + F_{тр}, \quad (1)$$

где m_k – масса корпуса.

Решая уравнение (1) при начальных условиях $t = 0$; $S_1 = 0$; $dS_1/dt = 0$, определим перемещение и скорость на этом участке:

$$S_1 = \frac{-F_{отд} + F_{тр}}{2m_k} t_p^2, \quad (2)$$

$$v_1 = \frac{-F_{отд} + F_{тр}}{2m_k} t_p, \quad (3)$$

где t_p – время движения пневмопробойника на первом участке; для пневмопробойника со стопорным механизмом $S_1 = 0$; $v_1 = 0$.

На втором участке (рис. 3б) на корпус пневмопробойника действуют силы: $F_{тр}$, $R_{л}$ – равнодействующая сил лобового сопротивления грунта; $F_{уд}$ – равнодействующая усилия, возникающего в результате соударения. Под действием $F_{уд}$ пневмопробойник перемещается в сторону образования скважины, и его движение описывается дифференциальным уравнением

$$(m_k + m_6) \frac{d^2 S}{dt^2} = F_{уд} - R_{сум}, \quad (4)$$

где m_6 – масса ударника; $R_{сум} = R_{л} + F_{тр}$.

После двойного интегрирования уравнения и при начальных условиях $t = 0$; $S_2 = 0$; $dS_2/dt = 0$ определим перемещение и скорость пневмопробойника со стопорным механизмом:

$$S_2 = \frac{F_{уд} - R_{сум}}{m_k + m_6} \frac{t_c^2}{2}, \quad (5)$$

$$v_2 = \frac{F_{уд} - R_{сум}}{m_k + m_6} \frac{t_c}{2}, \quad (6)$$

где t_c – время движения пневмопробойника на втором участке.

Определим, как увеличится перемещение пневмопробойника со стопорным механизмом по сравнению с пневмопробойником без стопорного механизма. Для этого решим уравнение (4) при начальных условиях: $t = 0$; $dS_2/dt = (-F_{отд} + F_{тр})t_p/m_k$; $S_2 = (-F_{отд} + F_{тр})t_p^2/(2m_k)$

$$S_2' = \frac{F_{уд} - R_{сум}}{m_k + m_6} \frac{t_c^2}{2} - \frac{F_{отд} - F_{тр}}{m_k} \left[t_c + \frac{t_p}{2} \right] t_p. \quad (7)$$

Перемещение пневмопробойника увеличится на:

$$\Delta S_2 = S_2 - S_2' = \frac{F_{отд} - F_{тр}}{m_k} \left[t_c + \frac{t_p}{2} \right] t_p. \quad (8)$$

ВЫВОД

В настоящее время самодвижущиеся пневмопробойники выпускаются без стопорных механизмов. Введение в конструкцию пневмопробойников таких механизмов повысит скорость формирования скважин в грунте. Разработана конструкция пневмопробойника с надежным стопорным механизмом. Получена формула для определения увеличения перемещения пневмопробойника со стопорным механизмом и без него. Задачей дальнейшей работы является проведение теоретических и экспериментальных исследований по взаимодействию с грунтом пневмопробойников со стопорным механизмом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Суднишников, Б. В. Исследование и конструирование пневматических машин ударного действия / Б. В. Суднишников, Н. Н. Есин, К. К. Тупицын. Новосибирск: Наука, 1985. 134 с.
2. Тупицын, К. К. Некоторые вопросы расчета пневмопробойников / К. К. Тупицын // Пневматические силовые импульсные системы. Новосибирск, 1969. Ч. 2. С. 79–81.
3. Ткач, Х. Б. К расчету пневмопробойника / Х. Б. Ткач // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1973. № 1. С. 56–60.
4. Тупицын, К. К. Исследование рабочего цикла пневмопробойников / К. К. Тупицын, А. Д. Костылев, К. С. Гурков // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1969. № 4. С. 67–72.
5. Спектор, М. Б. Расчеты пневмоударных проходчиков для горизонтальных скважин / М. Б. Спектор // Гор-

- ные, строительные и дорожные машины. Киев: Техника, 1974. Вып. 18. С. 17–21.
6. Костылев, А. Д. Некоторые результаты исследования прямолинейности пробивания скважин в грунтах пневмопробойниками / А. Д. Костылев, Н. П. Чепурной // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1969. № 5. С. 41–44.
 7. Чередников, Е. Н. О взаимодействии пневмопробойников с грунтом / Е. Н. Чередников // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1970. № 3. С. 119–121.
 8. Тупицын, К. К. О процессе взаимодействия пневмопробойника с грунтом / К. К. Тупицын // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1980. № 4. С. 75–81.
 9. Передерей, В. К. Методы повышения скорости самоходных пневмопробойников для образования скважин в грунте / В. К. Передерей // Строительные и дорожные машины. 1999. № 9. С. 2–3.
 10. Передерей, В. К. Стопорные механизмы в самоходных пневмопробойниках / В. К. Передерей // Строительные и дорожные машины. 1998. № 3. С. 11–14.
 11. Пробойник для образования скважин в грунте: а. с. 505774 СССР: МПК2 E02F5/18 / И. С. Полтавцев, М. Б. Спектор; дата публ.: 05.03.1976.
 12. Пристрій ударної дії для утворення свердловин у ґрунті: пат. 27791 України: МПК6 E02F5/18 / В. К. Передерей; дата публ.: 16.10.2000.
 13. Пристрій ударної дії для утворення свердловин у ґрунті: пат. 63439 України: МПК6 E21B1/00, E02F5/18 / В. К. Передерей; дата публ.: 10.10.2011.
- Поступила 05.01.2015
Подписана в печать 11.03.2015
Опубликована онлайн 30.03.2016
- REFERENCES
1. Soudnishnikov B. V., Yesin N. N., Tupitsin K. K. (1985) *Investigation and Designing of Pneumatic Impact Action Machinery*. Novosibirsk, Nauka. 134 (in Russian).
 2. Tupitsin K. K. (1969) Some Problems on Calculation of Pneumodrift. *Pneumatic Force Impulse System, Part. 2*. Novosibirsk, 79–81 (in Russian).
 3. Tkach Kh. B. (1973) On Calculation of Pneumodrift. *Fiziko-Tekhnicheskiye Problemy Razrabotki Poleznykh Iskopayemykh* [Physical and Technical Problems on Mining of Mineral Resources], (1), 56–60 (in Russian).
 4. Tupitsin K. K., Kostylev A. D., Gurkov K. S. (1969) Investigation of Operational Cycle of Pneumodrift. *Fiziko-Tekhnicheskiye Problemy Razrabotki Poleznykh Iskopayemykh* [Physical and Technical Problems on Mining of Mineral Resources], (4), 67–72 (in Russian).
 5. Spector M. B. (1974) Calculations of Pneumatic Impact Drift Miner for Horizontal Wells. *Gornye, Stroitelnye i Dorozhnye Mashiny* [Mining, Construction and Road Machinery]. Kiev, Tekhnika, Issue. 18, 17–21 (in Russian).
 6. Kostylev A. D., Chepurnoi N. P. (1969) Some Investigation Results on Well Drilling Straightness in Subsoil While Using Pneumodrift. *Fiziko-Tekhnicheskiye Problemy Razrabotki Poleznykh Iskopayemykh* [Physical and Technical Problems on Mining of Mineral Resources], (5), 41–44 (in Russian).
 7. Cherednikov Ye. N. (1970) On Interaction of Pneumodrift and Subsoil. *Fiziko-Tekhnicheskiye Problemy Razrabotki Poleznykh Iskopayemykh* [Physical and Technical Problems on Mining of Mineral Resources], (3), 119–121 (in Russian).
 8. Tupitsin K. K. (1980) On Interaction Process of Pneumodrift and Subsoil. *Fiziko-Tekhnicheskiye Problemy Razrabotki Poleznykh Iskopayemykh* [Physical and Technical Problems on Mining of Mineral Resources], (4), 75–81 (in Russian).
 9. Perederey V. K. (1999) Methods for Increasing Speed of Self-Propelling Pneumodriffs for Well Formation in Subsoil. *Stroitelnye i Dorozhnye Mashiny* [Construction and Road Machinery], (9), 2–3 (in Russian).
 10. Perederey V. K. (1998) Locking Mechanism in Self-Propelling Pneumodriffs. *Stroitelnye i Dorozhnye Mashiny* [Construction and Road Machinery], (3), 11–14 (in Russian).
 11. Poltavtsev I. S., Spector M. B. (1976) Drift for Well Formation in Subsoil. Patent USSR No 505774 (in Russian).
 12. Perederey V. K. (2000) Impact Device for Well Formation in Subsoil. Patent of Ukraine No 27791 (in Ukrainian).
 13. Perederey V. K. (2011) Impact Device for Well Formation in Subsoil. Patent of Ukraine No 63439 (in Ukrainian).

Received: 05.01.2015

Accepted: 11.03.2015

Published online: 30.03.2016

УДК 391.316

К вопросу применения материалов на основе дисперсных гидросиликатов кальция при устройстве защитных покрытий местных автомобильных дорог

Докт. хим. наук, проф. В. Н. Яглов¹⁾, доктора техн. наук, профессора Я. Н. Ковалев¹⁾, В. Н. Романюк¹⁾,
А. В. Таболич²⁾, Е. Н. Иванов²⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь),

²⁾НТЦ ООО «НПО Центр» (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2016
Belarusian National Technical University, 2016

Реферат. Строительство автомобильных дорог – одна из наиболее материалоемких сфер промышленного производства. В этой связи для данной отрасли актуальной задачей является максимальное снижение материалоемкости строительства путем применения эффективных местных материалов, снижения энергоемкости технологических процессов за счет использования новых материалов. Развитая сеть местных автомобильных дорог требует постоянного ухода и текущего ремонта. Поэтому целесообразно рассмотреть вопрос использования защитных покрытий таких дорог на основе материалов контактно-конденсационного твердения, которые могут быть получены на базе местного сырья. Одним из представителей таких материалов являются дисперсные гидросиликаты кальция, которые находят широкое практическое применение в качестве основных компонентов при производстве строительных материалов, стекла, ситаллов, керамических изделий. Относительно дешевый высокодисперсный кристаллический материал – промежуточный продукт гидрохимического синтеза волластонита – ксонотлит $\text{Ca}_6(\text{Si}_6\text{O}_{17})(\text{OH})_2$. Разнообразие кальций- и кремнийсодержащего сырья, пригодного для получения различного вида гидросиликатов кальция, повышения требований к физико-химическим свойствам, обуславливает актуальность проблемы поиска и изучения оптимальных путей синтеза гидросиликатов кальция из техногенного и природного сырья. Теоретической основой предлагаемой технологии получения материала для покрытий дорог низких категорий является способность силикатных дисперсных веществ, переведенных в нестабильное состояние, образовывать камнеподобное водостойкое тело в момент приложения механической нагрузки. Дисперсные гидросиликаты кальция – наиболее характерные представители таких вяжущих контактно-конденсационного твердения. Следует отметить, что технология получения этих вяжущих не связана с высокотемпературными процессами, а синтез гидросиликатов кальция реализуется при тепловлажностной обработке доступного дешевого сырья на серийном оборудовании, что определяет их практическую значимость.

Ключевые слова: дисперсный гидросиликат кальция, автомобильная дорога, защитное покрытие

Для цитирования: К вопросу применения материалов на основе дисперсных гидросиликатов кальция при устройстве защитных покрытий местных автомобильных дорог / В. Н. Яглов [и др.] // *Наука и техника*. 2016. Т. 15, № 2. С. 122–125

On Application of Materials Based on Disperse Hydrated Calcium Silicate for Protective Layer of Local Automobile Roads

V. N. Yaglov¹⁾, Ya. N. Kovalev¹⁾, V. N. Romaniuk¹⁾, A. V. Tabolich²⁾, Ye. N. Ivanov²⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus),

²⁾OJSC “NPO Center” (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. Road construction is one of the most material-intensive spheres of industrial production. In this context, a relevant problem for the given branch is a maximum reduction of material consumption in construction through application of efficient local materials, decrease of power consumption in technological processes by using new materials. The developed network of local automobile roads requires their constant servicing and maintenance. So it is expedient to consider usage of protective coatings for such roads on the basis of materials having contact-condensation hardening and which can be obtained with the help of local raw materials. One of the representatives of such materials is disperse hydrated calcium silicate which has

Адрес для переписки

Романюк Владимир Никанорович
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 65/2,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 293-92-16
pte@bntu.by

Address for correspondence

Romaniuk Vladimir N.
Belarusian National Technical University
65/2 Nezavisimosty Ave.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 293-92-16
pte@bntu.by

found wide practical application as main components in the production of building materials, glass, glass ceramics and ceramic products. For example, relatively cheap highly dispersed crystalline material is intermediate product of hydro-chemical synthesis of wollastonite – xonotlite $\text{Ca}_6(\text{Si}_6\text{O}_{17})(\text{OH})_2$. A variety of calcium and silicon-containing raw material which is suitable to obtain various types of hydrated calcium silicate, to raise requirements for physical and chemical properties, dictates a need to search and study optimal ways for synthesis of hydrated calcium silicate from man-made and natural materials. The theoretical basis of the proposed technology to produce material required for secondary road pavement surfacing is the ability of silicate dispersed materials transferred in an unstable state to form a rock-like waterproof body at the moment of mechanical load application. Disperse hydrated calcium silicate are the most typical representatives of such binders with contact-condensation hardening. It is important to note that the technology for obtaining these binders is not related to high-temperature processes, and a synthesis of hydrated calcium silicates is realized while using steam curing of the available cheap raw material on the standard equipment. So such technology determines practical significance of the binders.

Keywords: disperse hydrated calcium silicate, automobile road, protective coating

For citation: Yaglov V. N., Kovalev Ya. N., Romaniuk V. N., Tabolich A. V., Ivanov Ye. N. (2016) On Application of Materials Based on Disperse Hydrated Calcium Silicate for Protective Layer of Local Automobile Roads. *Science & Technique*. 15 (2), 122–125 (in Russian)

Все методы получения дисперсных гидросиликатов кальция (ГСК) нестабильного состояния можно разделить на две группы – «снизу – вверх» и «сверху – вниз».

Метод «снизу – вверх» предусматривает получение ГСК из раствора исходных солей методом осаждения. Анализ факторов, влияющих на процесс формирования твердой фазы, позволил экспериментально определить оптимальные условия осаждения ГСК в виде нанодисперсных порошков. В частности, установлено, что температура, при которой протекает процесс осаждения, – важный фактор, влияющий на дисперсность получаемых порошков ГСК. Снижение температуры синтеза способствует уменьшению агломератов, повышению удельной поверхности осадка, так как происходит уменьшение скорости растворения мелких частиц осаждаемых ГСК (табл. 1) [1].

Таблица 1

Характеристики порошков гидросиликатов кальция, полученных при различных температурах осаждения [1]

Characteristics of hydrated calcium silicate powder obtained at various precipitation temperature [1]

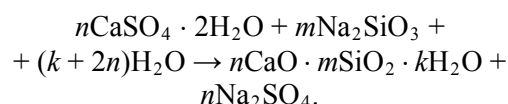
Тип исходной системы	Температура осаждения, °С	Размер агломератов, мкм	Удельная поверхность образцов, м ² /г
$\text{CaCl}_{2(p)} - \text{Na}_2\text{SiO}_{3(p)} - \text{H}_2\text{O}$	35	12–30	10–12
	20	5–14	40–44
	6	0,5–1,0	85–92
	1	0,5–1,0	90–92
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_{2(p)} - \text{Na}_2\text{SiO}_{3(p)} - \text{H}_2\text{O}$	35	15–30	7–13
	20	5–10	30–35
	6	<0,5	78–84
	1	<0,5	80–82
$\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COOH})_{2(p)} - \text{Na}_2\text{SiO}_{3(p)} - \text{H}_2\text{O}$	35	1–20	8–10
	20	1–15	60–64
	6	<0,5	85–92
	1	<0,5	85–92

По данным рентгенофазового анализа, полученные ГСК рентгеноаморфны. Термогравиметрический анализ показал, что синтезированные ГСК содержат около 30 % воды, выделяющейся при нагревании в интервале 20–700 °С.

Учитывая экономическую сторону вопроса синтеза ГСК, были изучены также способы их получения в системах:

- фосфогипс – растворимое стекло – вода;
- фосфогипс – негашеная известь – вода;
- негашеная известь – кремнегель – вода [2–6].

Кинетику формирования силикатов в указанных системах контролировали по выходу сульфат-ионов в раствор

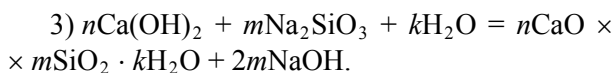


Процесс синтеза ГСК протекал при силикатном модуле $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 1$ и при $m = n$. Выход готового продукта (ГСК) при семичасовом синтезе составил 62,6 %. Дальнейшее увеличение времени концентрирования конечного продукта нецелесообразно, поскольку его выход в ходе процесса возрастает незначительно. Так, при 48-часовом синтезе он достигал 67 %.

На основании данных рентгенофазового анализа в осадках, полученных при взаимодействии фосфогипса и жидкого стекла и высушенных при комнатной температуре, присутствовали ГСК в виде аморфной фазы, а кристаллическая фаза была представлена $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ [2–6].

Процесс синтеза ГСК из аморфного кремнезема (кремнегель) – негашеной извести в присутствии щелочного агента (NaOH) при pH = 13 включает следующие стадии:

- 1) $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O} + 2\text{NaOH} = \text{Na}_2\text{SiO}_3 + (n + 1)\text{H}_2\text{O}$;
- 2) $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2$;



Размер зерен синтезированного ГСК составлял 1–20 мкм. Как вариант данный вид синтеза ГСК во всех вышеуказанных системах может быть использован для получения волластонита путем термообработки ГСК.

Метод «сверху – вниз» предусматривает синтез дисперсных ГСК в системе молотый кварцевый песок – негашеная известь – вода. Авторы использовали данный метод синтеза. Для этого песок подвергали помолу на измельчительном комплексе КИ-04 с помощью центробежно-ударного механизма измельчения. В сепараторе были выделены три фракции молотого песка – частицы менее:

- 20 мкм;
- 40 мкм;
- 120 мкм.

Определили удельные поверхности этих фракций песка. Они составили соответственно 1,0; 0,73 и 0,23 м²/г. Поглотительная способность СаО отдельных фракций соответственно 200; 180; 80 мг СаО/г молотого песка. Для сравнения, поглотительная способность трепела 390 мг СаО/г трепела. Вяжущее (ГСК) из смеси состава: песок (фракция <20 мкм) – 40 % мас., известь (72 % СаО) – 20 % мас. и трепел (фракция <60 мкм) – 40 % мас. получали путем кипячения водной суспензии при В/Т = 4 в течение 2 ч. В конце кипячения в полученное из ГСК вяжущее добавляли грубомолотый песок (фракция <120 мкм) при соотношении Вяж:П = 2:1. Влажность полученной смеси составляла 16–18 %. Из этой смеси прессовали образцы цилиндры диаметром 50 мм и высотой 50 мм. Прочность образцов сразу после прессования при давлении прессования 20 МПа составила 6 МПа, при давлении прессования 40 МПа – 11 МПа. Через 28 сут. воздушного хранения предел прочности на сжатие тех же образцов увеличился до 9 и 15 МПа соответственно.

Следует отметить, что синтез ГСК по методу «сверху – вниз» близок к уже используемым в промышленности строительных материалов методам механико-химической активации сырьевых материалов при производстве силикатного кирпича. Мерой механоактивации можно считать количество накопленной поверхностной энергии, запасенной в виде низкоэнергетических дефектов, существенно снижающих

энергию активации реакции химического взаимодействия извести и песка и повышающих кинетические константы процессов. Наличие этих дефектов обуславливает более высокую степень разупорядоченности структуры. Чем их больше, тем ближе вещество к химически активному аморфному состоянию [4]. В технологии силикатных материалов во многих процессах синтеза ГСК основной лимитирующий фактор – низкая химическая активность кварцевого компонента. В [5, 6] наглядно представлено позитивное влияние механоактивации на процессы взаимодействия кремнеземистого компонента с получением различных продуктов. Замечено, что в большей степени механоактивации подвергаются твердые и хрупкие материалы с большой долей ковалентных связей, в то время как пластические компоненты с идеальной спаянностью почти не поддаются активации такого рода. Очевидно, при механических нагрузках происходит скольжение структурных элементов твердых материалов относительно друг друга. С этой точки зрения кварцевые пески и сырьевые смеси на их основе являются материалами, восприимчивыми к механической активации [7, 8].

Основные результаты исследований механоактивационной диспергации кварцевого минерального сырья – установление аморфизации поверхности кварцевых частиц и уменьшение размеров кристаллитов. В частности, для неактивированного кварца размер кристаллитов оценивался >100 нм. Частицы механоактивированного кварца состоят из двух областей – центральной кристаллической области с размером кристаллитов ~90 нм и поверхностного аморфизованного слоя толщиной около 20 нм и размерами кристаллитов 1–10 нм [9–11].

Необходимо отметить, что если минералы группы кремнезема представляют собой высокотермические и высокотемпературные полиморфные модификации, при механоактивации кварца возможна реализация двух релаксационных процессов – агрегирование и возникновение в матрице материала высокотемпературных полиморфных модификаций. При этом логично предполагать, что различия в термической истории кварцевого сырья разных минералогеногенетических типов могут существенно повлиять на финальное состояние этих материалов после механоактивационной диспергации, в частности на их фазовую и размерную наномикрогетерогенность.

ВЫВОДЫ

1. При получении нестабильных дисперсных гидросиликатов кальция можно использовать два метода:

- «снизу – вверх» – осаждение гидросиликатов кальция из раствора при взаимодействии водорастворимых солей;

- «сверху – вниз» – путем использования теплового, химического и механического методов активации сырьевых компонентов для повышения дефектности их структуры.

2. Полученные смеси можно транспортировать на строящуюся дорогу, равномерно распределять смесь по ней и прикатывать вначале легкими, а затем тяжелыми катками. При этом образуется камневидное водостойкое покрытие [12].

ЛИТЕРАТУРА

1. Акатьева, Л. В. Развитие химико-технологических основ процессов переработки сырья для получения силикатов кальция и композиционных материалов / Л. В. Акатьева. М., 2014. 74 с.
2. Формирование моносилкатов кальция в модельной системе $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} - \text{Na}_2\text{SiO}_3$ / П. С. Гордиенко [и др.] // Перспективные материалы. 2008. № 6. С. 136–139.
3. Ярусова, С. Б. Синтез силикатов кальция в многокомпонентных системах и их физико-химические свойства / С. Б. Ярусова. Владивосток, 2010. 28 с.
4. Исследование кинетических особенностей формирования моносилката кальция в модельной системе $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} - \text{Na}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ / П. С. Гордиенко [и др.] // Журнал прикладной химии. 2009. Т. 82, вып. 9. С. 1409–1413.
5. Моносилкаты кальция как компоненты композиционных материалов / П. С. Гордиенко [и др.] // Химическая технология. 2009. Т. 10, № 3. С. 143–149.
6. Получение ксонотлита и перспективы его применения / В. Д. Гладун [и др.] // Химическая технология. 2000. Т. 1, № 11. С. 2–9.
7. Глуховский, В. Д. Физико-химические основы конденсации минеральных дисперсий / В. Д. Глуховский, Р. Ф. Рунова, П. В. Кривенко. Киев: Знание, 1983. 16 с.
8. Глуховский, В. Д. Сравнительная оценка контактно-конденсационных свойств дисперсных гидросиликатов кальция и щелочных гидроалюмосиликатов, гидратация и твердение вяжущих / В. Д. Глуховский, Р. Ф. Рунова, В. И. Чернявский // Гидратация и твердение вяжущих: тезисы докл. IV Всесоюзн. совещания. Львов, 1986. С. 167–170.
9. Тихомирова, И. Н. Механоактивация известково-кварцевых вяжущих / И. Н. Тихомирова, А. В. Макаров // Строительные материалы. 2012. № 9. С. 5–7.
10. Структурные преобразования кварцевого сырья при механоактивации / И. В. Жерновский [и др.] // Строительные материалы. 2012. № 10. С. 56–58.
11. Артамонова, О. В. Концепции и основания технологий наномодифицирования структур строительных композиций / О. В. Артамонова, Б. М. Чернышев // Строительные материалы. 2013. № 9. С. 82–90.

12. Чернявский, В. И. Строительные материалы из дисперсных гидросиликатов кальция / В. И. Чернявский. Киев, 1985. С. 22.

Поступила 25.05.2015

Подписана в печать 31.07.2015

Опубликована онлайн 30.03.2016

REFERENCES

1. Akatieva L. V. (2014) Development of Chemical and Technological Principles for Raw Material Processing in Order to Obtain Calcium Silicate and Composite Materials. Moscow. 74 (in Russian).
2. Gordienko P. S., Suponina A. P., Yarusova S. B., Bulanova S. B., Krysenko G. F., Kolzunov V. A. (2008) Formation of Calcium Mono-Silicates in the Model System $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} - \text{Na}_2\text{SiO}_3$. *Perspektivnye Materialy* [Prospective Materials], (6), 136–139 (in Russian).
3. Yarusova S. B. (2010) Synthesis of Calcium Silicates in Multi-Component Systems and their Physical and Chemical Properties. Vladivostok. 28 (in Russian).
4. Gordienko P. S., Suponina A. P., Yarusova S. B., Bulanova S. B., Krysenko G. F., Kolzunov V. A. (2009) Study of the Kinetic Aspects of Formation of Calcium Mono-Silicate in the Model System $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} - \text{Na}_2\text{O} - \text{SiO}_2$. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 82 (9), 1505–1509. DOI: 10.1134/S1070427209090018.
5. Gordienko P. S., Yarusova S. B., Bulanova S. B., Kolzunov V. A., Suponina A. P., Galkin K. N. (2009). Calcium Mono-Silicates as Components of Composite Materials. *Khimicheskaya Tekhnologiya* [Chemical Technology], 10 (3), 143–149 (in Russian).
6. Gladun V. D., Akatieva L. V., Andreeva N. N., Kholkin A. I. (2000) Obtaining of Xonotlite and its Application. *Khimicheskaya Tekhnologiya* [Chemical Technology], 1 (11), 2–9 (in Russian).
7. Glukhovskiy V. D., Runova R. F., Krivenko P. V. (1983) *Physical and Chemical Principles for Condensation of Mineral Dispersions*. Kiev, Znanie. 16 (in Russian).
8. Glukhovskiy V. D., Runova R. F., Chernyavskiy V. I. (1986) Comparative Estimation of Contact and Condensation Properties of Dispersive Calcium Hydro-Silicates and Alkaline Hydroalumosilicates, Hydration and Solidification of Binders. *Hydration and Hardening Binders. Report Abstracts of IV All-Union Meeting*. Lvov, 167–170 (in Russian).
9. Tikhomirova I. N., Makarov A. V. (2012) Mechanical Activation of Lime-Quartz Binders. *Stroitelnye Materialy* [Construction Materials], (9), 5–7 (in Russian).
10. Zhernovskii I. V., Stokova V. V., Bondarenko A. I., Kozhukhova N. I., Sobolev K. G. (2012) Structural Transformations of Quartz Raw Material Durin Mechanical Activation. *Stroitelnye Materialy* [Construction Materials], (10), 56–58 (in Russian).
11. Artamonova O. V., Chernyshev B. M. (2013) Conception and Principles of Technology for Nano-Modification of Construction Composite Structures. *Stroitelnye Materialy* [Construction Materials], (9), 82–90 (in Russian).
12. Chernyavskiy V. I. (1985) Construction Materials from Dispersive Calcium Hydro-Silicates. Kiev. 22 (in Russian).

Received: 25.05.2015

Accepted: 31.07.2015

Published online: 30.03.2016

УДК 504.062.2:556.18 (075.8)+556.18:681.5

Критерии оптимизации параметров водохозяйственного комплекса в бассейнах малых рек предгорных районов Вьетнама

Асп. Фам Нгок Киен¹⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2016
Belarusian National Technical University, 2016

Реферат. Регулирование речного стока позволяет удовлетворить противоречивые требования различных участников водохозяйственного комплекса. В последние годы во Вьетнаме головные участники водохозяйственного комплекса все чаще ведут борьбу с наводнениями, что характерно также для бассейнов рек юго-западной части Беларуси. В этих условиях очевидно создание водохранилищ. Однако степень регулирования стока, т. е. величина полезной емкости водохранилища, подлежит технико-экономическому обоснованию с учетом особенностей речного бассейна. В статье рассмотрены особенности малых рек предгорных районов Вьетнама. Предполагается, что основное водопользование осуществляется в процессе орошения. Поэтому требования других участников водохозяйственного комплекса (особенно по защите от наводнений) учитывались минимально. Предложен критерий оптимизации параметров водохозяйственного комплекса, включающего в основном орошение и борьбу с наводнениями, в виде минимума регулируемого объема речного стока на единицу орошаемой площади с выполнением ограничений по требованиям борьбы с наводнениями, а также водоснабжения, рыбного прудового хозяйства, гидроэнергетики и охраны природы. Применение математических моделей на основе экономических критериев оптимизации параметров водохозяйственного комплекса возможно в крайне редких случаях вследствие отсутствия, недостаточности или большой погрешности исходных данных.

Ключевые слова: водохранилище, водохозяйственный комплекс, критерий оптимизации, орошение, борьба с наводнением, водопользователь

Для цитирования: Фам Нгок Киен. Критерии оптимизации параметров водохозяйственного комплекса в бассейнах малых рек предгорных районов Вьетнама / Нгок Киен Фам // *Наука и техника*. 2016. Т. 15, № 2. С. 126–130

Criteria for Optimizing Parameters of Water Resources System in Basins of Small Rivers in Submontane Regions of Vietnam

Pham Ngoc Kien¹⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. Regulation of a river flow makes it possible to meet contradictory requirements of various participants of water resources systems. In recent years the main participants of water resources systems pay a lot of attention to flood prevention in Vietnam and water floods are rather typical for river basins in the South-West of Belarus. Due to such circumstances it looks rather reasonable to create water storage reservoirs. However, degree of flow regulation that is value of the reservoir useful capacity must have a techno-economic justification with due account of river basin specific features. The paper considers particularities of small rivers in pre-mountainous regions of Vietnam. It is expected that the main water use occurs during irrigation processes. For this reason the requirements of other water resources systems participants (especially requirements on flood protection) have come into account in a minimum way. The paper proposes a criterion for optimization of water resources systems parameters and in this case the main participants are irrigation and flood prevention. The criterion reflects minimum regulated volume of river flow per unit of irrigated area while observing restrictions pertaining to flood control,

Адрес для переписки

Фам Нгок Киен
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 150,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 267-71-74
kienpecc1@gmail.com

Address for correspondence

Pham Ngoc Kien
Belarusian National Technical University
150 Nezavisimosty Ave.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 267-71-74
kienpecc1@gmail.com

water supply, pond fish farms, water power engineering and environmental protection. Application of mathematical models on the basis of economic criteria for optimization of the water resources systems parameters is possible rather rare due to absence, shortage or poor accuracy in initial data.

Keywords: water storage reservoir, water resources system, optimization criterion, irrigation, flood, prevention, water user

For citation: Pham Ngoc Kien (2016) Criteria for Optimizing Parameters of Water Resources System in Basins of Small Rivers in Submontane Regions of Vietnam. *Science & Technique*. 15 (2), 126–130 (in Russian)

Водопользование в бассейнах рек предгорных районов Вьетнама, как и во многих регионах других государств, практически невозможно без регулирования речного стока. Именно с помощью стокорегулирующих водохранилищ появляется возможность обеспечить противоречивые требования различных участников водохозяйственного комплекса (ВХК). Компоненты ВХК могут включать: орошение; хозяйственное водоснабжение; водоснабжение промышленности, сельского хозяйства и животноводства; рыбное хозяйство; сохранение минимальных расходов воды в русле реки для рекреации и охраны природы; гидроэнергетику и борьбу с наводнениями. Если десять лет назад в бассейнах рек Вьетнама основным водопользователем (головным участником ВХК) считалась гидроэнергетика, то в настоящее время с учетом прогнозируемого изменения климата на первый план выходят борьба с наводнениями и орошение. Это характерно также для бассейнов рек юго-западной части Беларуси. В большинстве случаев наибольшие потребности в воде (в основном на нужды орошения) не покрываются выпадающими в вегетационные периоды осадками, а естественный речной сток в эти периоды недостаточен для обеспечения водой всех пользователей в необходимом объеме. В таких условиях создание водохранилищ очевидно. Однако степень регулирования стока, т. е. величина полезной емкости водохранилища (или каскада водохранилищ), подлежит технико-экономическому обоснованию с учетом особенностей речного бассейна. Полезная емкость водохранилища является основным параметром любого ВХК.

Критерии оптимизации емкости водохранилищ применительно к ВХК, включающего в основном орошение, — цель настоящей работы. При этом учитываются характерные для бассейнов рек предгорных районов Вьетнама особенности [1, 2], при которых не существует прямой связи между полезным объемом водохранилища и площадью орошения за счет этого

объема, а потребности в воде орошения сильно изменяются в течение года не только в зависимости от выпадающих осадков, но и от периодов сбора урожая, структуры сельскохозяйственных культур, погодных условий. Предполагается, что требования других участников ВХК (особенно по защите от наводнений) учитываются минимально. Принимаемые условия характерны для таких рек Вьетнама, как Бан Монг, Нган Чыой и других, а также для притоков Припяти и Западного Буга в Беларуси.

Вопросы оптимизации параметров ВХК изучены многими авторами. Основные положения используемых методов опубликованы в [2–4], а также в других изданиях. Для Вьетнама эти вопросы рассмотрены в [1, 5–8]. Во всех вышеупомянутых исследованиях использовались математические модели, основанные на критериях оптимизации применительно к тому или иному речному бассейну и составу участников ВХК. Например, Фан Ки Нам [7] разработал математическую модель оптимизации с использованием критерия максимума выработки электроэнергии в системе каскада водохранилищ. В [9] исследованы вопросы управления многоцелевым водохранилищем по критерию максимума гидроэнергетики с обеспечением потребностей других участников ВХК. Фам Фу [6] создана модель планирования водопользования в пределах речного бассейна и установления оптимальной структуры каскадов водохранилищ, в первую очередь предназначенных для выработки электроэнергии. Чаще других задачи оптимизации решались для ВХК, участниками которого являлись ирригация, гидроэнергетика и борьба с наводнениями, но применительно к крупным речным бассейнам.

В [1] проанализирована оросительная ирригационная система бассейна в Индии с двумя конфликтующими целями, которыми являются максимальная чистая экономическая выгода и максимальная орошаемая обеспеченная пло-

щадь. Нгуен Тхьонг Банг [1] для достижения оптимальных параметров сети водохозяйственных комплексов упростил цели ВХК, сведя их к двум: максимуму выработки электроэнергии в сухом сезоне и минимуму площади зеркала водохранилищ. Для малых бассейнов предложенные методы расчета не адаптированы. До практического воплощения доведены методы, ориентированные на оптимизацию какой-либо одной цели: гидроэнергетики, орошения или борьбы с наводнением. В тех случаях, когда авторами исследованы совместно две или три цели, ведущим участником ВХК являлась гидроэнергетика.

Таким образом, к настоящему времени вопросы оптимизации параметров ВХК, главными участниками которого являются орошение и борьба с наводнениями, другими авторами не изучены. Для их решения требуется обоснование приемлемого критерия оптимизации. На основе анализа перечисленных и других не цитируемых в данной статье работ можно сделать вывод, что в мировой практике используются следующие критерии оптимизации:

- экономические [1];
- неэкономические, связанные с достижением определенной цели [1, 6, 7, 9].

Экономические критерии, разработанные в прошлом столетии, не претерпели существенных изменений и подразделяются на два основных вида:

- минимум дисконтированных (приведенных к одному и тому же моменту времени) затрат на строительство и эксплуатацию ВХК при заданном объеме сельскохозяйственной или иной продукции (разновидностью этого критерия может быть минимум денежных средств на 1 га орошаемых культур);
- максимум дисконтированного дохода (в течение заданного срока реализации проекта) от всех видов водохозяйственной деятельности в процессе функционирования ВХК (в первую очередь от продажи риса и другой сельскохозяйственной продукции).

Эти критерии применяются при наличии достаточно полной и надежной информации о стоимостных показателях строительства и эксплуатационных затратах в зависимости от водохозяйственных параметров ВХК. Применительно к рассматриваемым регионам Вьетнама

упомянутая выше исходная информация практически недоступна. Поэтому автор предлагает относящийся ко второй группе следующий критерий оптимизации: минимум регулируемого объема речного стока на единицу орошаемой площади в виде целевой функции

$$f(F_{\text{ор}}) = \frac{W_{\text{е.ор}} + W_{\text{вх}}^{\text{НПУ}}}{F_{\text{ор}}} \rightarrow \min, \text{ при } F_{\text{ор}} \geq F_{\text{е.ор}}, \quad (1)$$

где $W_{\text{е.ор}}$ – естественный речной сток, м^3 , предназначенный для орошения (с учетом удовлетворения обязательных потребностей других участников ВХК); $W_{\text{вх}}^{\text{НПУ}}$ – полный объем водохранилища при нормальном подпорном уровне (НПУ), м^3 ; $F_{\text{ор}}$ – общая поливаемая в течение года площадь, га; $F_{\text{е.ор}}$ – гарантированная за счет естественного речного стока площадь орошения, га.

При отсутствии водохранилища (нулевом значении $W_{\text{вх}}^{\text{НПУ}}$) выражение (1) фактически является средневзвешенной нормой орошения. С увеличением полного объема водохранилища критерий (1) вначале стремительно возрастает, поскольку полезная емкость близка к нулю и площадь орошения не изменяется, а затем (после достижения уровня мертвого объема (УМО)) постепенно снижается и достигает своего минимума (но не превышая норму орошения) в районе НПУ, которым тоже можно варьировать. Критерий начинает возрастать, когда с увеличением полной емкости водохранилища его полезный объем увеличивается в гораздо меньшей степени вследствие значительной площади затоплений и роста дополнительного испарения с водной поверхности.

При реализации предложенного критерия необходимо соблюдать ряд водохозяйственных и экологических ограничений, учитывающих требования других участников ВХК. Основными из них являются:

1. Емкость водохранилища должна быть достаточной для срезки пика катастрофических расходов (уменьшения ущербов от наводнений и затоплений)

$$W_{\text{вх}}^{\text{пл}} \geq W_{\text{реч}}^{T_1} - W_{\text{тер}}^{T_1} - W_{\text{вех}}^{T_1} - W_{\text{ор}}^{T_1} - W_{\text{др}}^{T_1} - [W_{\text{форс}}], \quad (2)$$

где T_1 – время периода паводка; $W_{\text{реч}}^{T_1}$ – объем речного стока в расчетный период паводка;

$W_{\text{вх}}^{\text{пл}}$ – полезный объем водохранилища; $W_{\text{тер}}^{T_1}$ – объем воды, теряемой в водохранилище (дополнительные испарения с водной поверхности и потери на фильтрацию); $W_{\text{вех}}^{T_1}$ – забор воды из верхнего бьефа водохранилища (во время паводка, особенно в бассейнах малых рек предгорных районов Вьетнама; величины $W_{\text{тер}}^{T_1}$ и $W_{\text{вех}}^{T_1}$ незначительны по сравнению с другими составляющими, поэтому они могут не учитываться); $W_{\text{ор}}^{T_1}$ – максимально возможный объем воды, проходящей через водопропускные сооружения, предназначенные для целей орошения; $W_{\text{др}}^{T_1}$ – максимально возможный пропуск воды через специальные сооружения (при их наличии) по требованиям других (кроме орошения) участников ВХК (энергетика, водоснабжение городского и сельского населения, промышленное водоснабжение, заполнение рыбоводных прудов); $[W_{\text{форс}}]$ – допустимый форсированный объем сброса воды (не приводящий к затоплениям в нижнем бьефе).

2. Обеспечение забора воды из верхнего бьефа водохранилища и пропуска воды в нижний бьеф по требованиям всех участников ВХК в расчетный маловодный период

$$W_{\text{вх}}^{\text{пл}} \geq W_{\text{реч}}^{T_2} - W_{\text{тер}}^{T_2} - W_{\text{ор}}^{T_2} - W_{\text{б.п}}^{T_2} - W_{\text{н.п}}^{T_2}, \quad (3)$$

где T_2 – время расчетного маловодного периода; $W_{\text{реч}}^{T_2}$ – объем речного стока; $W_{\text{тер}}^{T_2}$ – то же воды на потери (дополнительные испарения с водной поверхности водохранилищ и потери на фильтрацию); $W_{\text{ор}}^{T_2}$ – безвозвратное водопотребление орошения; $W_{\text{б.п}}^{T_2}$ – то же других (кроме орошения) участников ВХК, осуществляющих изъятие воды из водного источника (водоснабжение городского и сельского населения, промышленное водоснабжение, заполнение рыбоводных прудов); $W_{\text{н.п}}^{T_2}$ – пропуск воды в русло нижнего бьефа по требованиям других участников (без изъятия воды из источника), который принимается равным величине максимума потребностей гидроэнергетики, охраны природы, обеспечения водопользования на рас-

положенной ниже территории другого государства за каждый расчетный интервал времени (в различные периоды лимитирующими могут быть разные водопользователи).

Потребности гидроэнергетики определяют согласно [10, 11]. Минимально необходимый объем воды для обеспечения требований охраны природы в Республике Беларусь принимается равным 75 % от минимального месячного речного стока 95%-й обеспеченности, а во Вьетнаме – равным среднему расходу воды сухого (маловодного) сезона года 90%-й обеспеченности [12]. Для трансграничных рек следует также учесть объем воды, который необходимо оставить в реке для другого государства (согласно двусторонним соглашениям).

3. Кроме того, за пределами оптимизации следует учитывать ряд ограничений, связанных с недопущением затоплений ценных угодий, социальных объектов, культурных и исторических памятников, а также с выполнением международных обязательств, общественных, этических, эстетических и других принципов и правил [13].

ВЫВОДЫ

1. Применение математических моделей на основе экономических критериев оптимизации параметров водохозяйственного комплекса возможно в крайне редких случаях вследствие отсутствия, недостаточности или большой погрешности исходных данных.

2. Предложен критерий оптимизации параметров водохозяйственного комплекса, включающего в основном орошение и борьбу с наводнениями, в виде минимума регулируемого объема речного стока на единицу орошаемой площади с выполнением ограничений по требованиям борьбы с наводнениями, а также водоснабжения, рыбного прудового хозяйства, гидроэнергетики и охраны природы.

3. Предлагаемый критерий позволит оптимизировать не только емкость водохранилища многоцелевого назначения, но и обосновать площади орошаемых земель при рациональной структуре поливаемых культур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нгуен Тхыонг Банг. Оптимизация ирригационной гидроэнергетической системы в многоцелевом водопользовании / Тхыонг Банг Нгуен. М., 2002. 140 с.
2. Проектирование схем комплексного использования водных ресурсов / пер. с англ.; под ред. Т. Л. Золотарева, В. И. Обрезкова. М.: Энергия, 1966. 334 с.
3. Воропаев, Г. В. Моделирование водохозяйственных систем аридной зоны СССР / Г. В. Воропаев, Г. Х. Исмаилов, В. М. Федоров. М.: Наука, 1984. 313 с.
4. Пряжинская, В. Г. Компьютерное моделирование в управлении водными ресурсами / В. Г. Пряжинская, Д. М. Ярошевский, Л. К. Левит-Гуревич. М.: Физматлит, 2002. 496 с.
5. Нгуен Чонг Шинь. Выбор режимов и параметров водохранилищ комплексного использования для выработки энергии и борьба с наводнением / Чонг Шинь Нгуен. М.: Национ. библ., 1971. 152 с.
6. Фам Фу. Задача о проектировании схем использования речных источников и оптимальной структуре каскадов водохранилищ в основном использовании для гидроэнергетики / Фу Фам. М.: Национ. библ., 1979. 173 с.
7. Фан Ки Нам. Оптимальное расположение каскадов гидроэлектростанций / Ки Нам Фан. М.: Национ. библ., 1973. 126 с.
8. Фам Нгок Киен. Особенности водохозяйственного комплекса в бассейнах рек предгорных районов Вьетнама / Нгок Киен Фам // Материалы докладов Междунар. науч. конф. «Природная среда Полесья: особенности и перспективы развития». Брест, 2014. С. 78–80.
9. Basnyat, D. B. Optimum Development and Management of Multi-Purpose Reservoir System in the Karnali River of Nepal / D. B. Basnyat. Bangkok: AIT, 1990.
10. Планирование развития вьетнамской национальной электроэнергетической системы на период 2011–2020 гг. и взгляды на развитие до 2030 г.: утверждение № 1208/QĐ-TTg, 2011.
11. Фам Нгок Киен. Обоснование объемов и режимов подачи воды на орошение в зависимости от стока рек предгорных районов Вьетнама / Нгок Киен Фам // Наука и техника. 2015. № 2. С. 61–66.
12. Вьетнамский национальный регламент. Национальный технический регламент о гидротехнических сооружениях: основные условия для проектирования: QCVN 04-05: 2012/BNNPTNT. Ханой, 2012. 47 с.
13. Колобаев, А. Н. Рациональное использование и охрана водных ресурсов / А. Н. Колобаев. Минск: БНТУ, 2005. 172 с.

Поступила 10.11.2015

Подписана в печать 27.01.2016

Опубликована онлайн 30.03.2016

REFERENCES

1. Nguyen Thuong Bang (2002) *Optimization of Irrigation Hydraulic Power Systems in Multi-Purpose Water Use*. Moscow. 140 (in Russian).
2. Zolotareva T. L., Obrezkova V. I. (eds.) (1966) *Designing of Schemes for Complex Usage of Water Resources*. Moscow, Energiya. 334 (in Russian).
3. Voropaev G. V., Ismailov G. H., Fiodorov V. M. (1984) *Modeling of Water-Resources Systems in the USSR Arid Zones*. Moscow, Nauka. 313 (in Russian).
4. Priazhinskaya V. G., Yaroshevsky D. M., Levit-Gourevich L. K. (2002) *Computational Simulation in Management of Water Resources*. Moscow, Fizmatlit. 496 (in Russian).
5. Nguyen Trong Sinh (1971) *Selection of Regimes and Parameters for Multi-Purpose Reservoirs in Order to Generate Power and Fight the Floods*. Moscow. 152 (in Russian).
6. Pham Phu (1979) *Designing Problem of Schemes for River Sources and Optimum Structure of Reservoir Cascades in their Main Usage for Hydraulic Power*. Moscow. 173 (in Russian).
7. Phan Ky Nam (1973) *Optimum Arrangement of Hydraulic Power Station Cascades*. Moscow. 126 (in Russian).
8. Pham Ngoc Kien (2014) Peculiar Features in Multi-Purpose Water Resource Complex of River Basins in Sub-Areas in Vietnam. *Prirodnaia Sreda Polesia: Osobennosti i Perspektivy Razvitiia: Materialy Dokladov Mezhdunar. nauch. konf.* [Natural Environment of Polesie: Its Peculiar Features and Prospects of Development. Proceedings of International Scientific Conference]. Brest, 78–80 (in Russian).
9. Basnyat D. B. (1990) *Optimum Development and Management of Multi-Purpose Reservoir System in the Karnali River of Nepal*. Bangkok, AIT.
10. Plan for Development of Vietnamese National Electrical Power System for 2011–2020 and Viewpoints on its Development up to 2030: Approval: No 1208/QĐ-TTg, 2011.
11. Pham Ngoc Kien (2015) Substantiation of Water Supply Volume and Regimes for Irrigation According to River Flow in Sub-Mountain Areas of Vietnam. *Nauka i Tekhnika* [Science and Technique], (2), 61–66 (in Russian).
12. Vietnamese National Regulations. National Technical Regulations on Hydro-Technical Constructions. Principal Conditions for Designing: QCVN 04-05: 2012/BNNPTNT. Hanoi, 2012. 47 p.
13. Kolobaev A. N. (2005) *Rational Usage and Conservation of Water Resources*. Minsk: BNTU [Belarusian National Technical University]. 172 (in Russian).

Received: 10.11.2015

Accepted: 27.01.2016

Published online: 30.03.2016

УДК 511.2; 528.9

Экспериментальные измерения объемов подводных отложений хвостов и жидких промышленных отходов в накопителе на основе эхолотации и GPS-систем в ОАО «Беларуськалий»

Канд. геогр. наук, доц. В. И. Михайлов¹⁾,
инженеры В. Э. Зейтц²⁾, С. И. Кононович³⁾, Ю. Н. Чиберкус³⁾, А. О. Искрицкая¹⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь),

²⁾ОАО «Беларуськалий» (Солигорск, Республика Беларусь),

³⁾ЗАО «Экомир» (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2016
Belarusian National Technical University, 2016

Реферат. Изложен новый подход к вычислению объемов подводных отложений хвостов и жидких промышленных отходов на основе инновационных технологий. Традиционно для топографической съемки дна шламохранилища использовали два теодолита, установленных в разных точках, и лодку с грузом для промера глубины дна. Теодолитами одновременно измеряли горизонтальные направления на маркер лодки. Глубину дна определяли посредством опускания на веревке в соляной раствор круглого груза массой 2 кг. Такая технология, кроме больших временных и трудовых затрат, требовала синхронизации действий всех троих участников работ: исполнителей двух теодолитов и экипажа лодки в каждой точке промера глубины. Для более эффективного решения этой задачи предложена методика использования эхолотации для определения глубины ложа накопителя (шламохранилища) в комплексе с системами космического позиционирования (GPS-системы), которые можно разместить на лодке. Датчик эхолотации монтировали под днищем лодки на глубине 10 см от уровня рассолов в шламохранилище. Антенну GPS-приемника устанавливали над датчиком эхолота. Плановую привязку точек промера глубины дна выполняли в местной системе координат. После ввода данных координатной привязки соответствующих им откорректированных глубин в пакете программных средств LISCAD Plus SEE выполняли формирование цифровой модели дна шламохранилища на основе метода строгой триангуляции. Создание цифровой модели позволяет достаточно просто вычислить объем между дном складохранилища и выбранным уровнем (высотой наполнителя). При этом определить объем и площадь не только выше, но и ниже отчетной поверхности можно способом построения цифровых моделей за разные периоды времени эксплуатации шламохранилища.

Ключевые слова: шламохранилище, эхолот, электронный тахеометр, программный комплекс LISCAD Plus SEE

Для цитирования: Экспериментальные измерения объемов подводных отложений хвостов и жидких промышленных отходов в накопителе на основе эхолотации и GPS-систем в ОАО «Беларуськалий» / В. И. Михайлов [и др.] // *Наука и техника*. 2016. Т. 15, № 2. С. 131–138

Experimental Measurements of Tailing Underwater Sediments and Liquid Industrial Wastes in Storage Tank on the Basis of Echolocation and GPS-Systems at JSC “Belaruskali”

V. I. Mikhailov¹⁾, V. E. Zeits²⁾, S. I. Kononovich³⁾,
Yu. N. Chiberkus³⁾, A. O. Iskrietskaya¹⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus),

²⁾JSC “Belaruskali” (Soligorsk, Republic of Belarus),

³⁾ZAO “Ecomir” (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. The paper presents a new approach to calculate volume of tailing underwater sediments and liquid industrial wastes on the basis of innovative technologies. Two theodolites which are set at various points and a boat with a load for measuring

Адрес для переписки

Михайлов Владимир Иванович
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 150,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 265-95-97
inggeod@bntu.by

Address for correspondence

Mikhailov Vladimir I.
Belarusian National Technical University
150 Nezavisimosty Ave.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 265-95-97
inggeod@bntu.by

water depth have been traditionally used for topographic survey of slime storage bottom. Horizontal directions have been simultaneously measured on the boat marker while using theodolites. Water depth has been determined while using a 2-kg circular load which was descended into brine solution with the help of rope. In addition to rather large time and labour costs such technology has required synchronization in actions on three participants involved in the work: operators of two theodolites and boat team in every depth measuring point. Methodology has been proposed for more efficient solution of the problem. It presupposes the use of echolocation together with space localization systems (GPS-systems) which can be set on a boat with the purpose to measure depth of a storage tank bed. An echolocation transducer has been installed under the boat bottom at the depth of 10 cm from the brine solution level in the slime storage. An aerial of GPS-receiver has been fixed over the echo-sounder transducer. Horizontal positioning of bottom depth measuring points have been carried out in the local coordinate system. Formation of digital model for slime storage bottom has been executed after data input of the coordinate positioning that corresponded to corrected depths in the software package LISCAD Plus SEE. The formation has been made on the basis of a strict triangulation method. Creation of the digital model makes it rather easy to calculate a volume between a storage bottom and a selected level (height of filling material). In this context it is possible to determine a volume and an area not only above but also lower of the datum surface. For this purpose it is recommended to use digital models which are developed for various time periods of slime storage operation.

Keywords: slime storage, echo-sounder, electronic tachometer, software complex LISCAD Plus SEE

For citation: Mikhailov V. I., Zeits V. E., Kononovich S. I., Chiberkus Yu. N., Iskritskaya A. O. (2016) Experimental Measurements of Tailing Underwater Sediments and Liquid Industrial Wastes in Storage Tank on the Basis of Echolocation and GPS-Systems at JSC "Belaruskali". *Science & Technique*. 15 (2), 131–138 (in Russian)

Производство калийных удобрений связано с достаточно большими объемами отходов обогащенных фабрик – твердых галитовых и жидких глинисто-солевых шламов, складированием которых занимаются специальные службы добывающего предприятия. И если солевые отходы для складирования твердых галитовых отходов обогащения могут обходиться без особых мероприятий при хранении, то эксплуатация шламохранилищ для складирования жидких глинисто-солевых шламов требует периодического учета баланса по твердому шламу и объему рассолов. В рамках этих требований правилами эксплуатации шламохранилищ предусмотрено выполнение периодической топографической съемки дна шламохранилища, которая позволяет обосновать его эффективную эксплуатацию и своевременно принимать меры по обеспечению расчетных параметров и предотвращению аварийных ситуаций [1, 2].

Как правило, для топографической съемки дна шламохранилища используются два теодолита и лодка со специальным грузом для промера дна. На берегу на известном расстоянии в пределах прямой видимости друг друга и лодки устанавливали два теодолита. Затем в местах промера глубины дна шламохранилища измеряли горизонтальные углы направлений на маркер на лодке. Далее, используя геометрические соотношения, вычисляли координаты местоположения лодки. Глубину определяли путем опускания в соляной раствор круглого груза массой около 2 кг, к которому привязывали промаркированную веревку. Такая технология, кроме больших временных затрат, требовала

синхронизации действий всех троих участников работ: обоих исполнителей теодолитов и экипажа лодки (поскольку измерения углов и промер глубины дна должны быть выполнены согласованно).

Появление электронных тахеометров могло бы частично решить эту проблему. Используя только один тахеометр, необходимо определить координаты местоположения лодки. Но по-прежнему тахеометр должен устанавливаться на берегу шламохранилища и его измерения надо согласовывать с промером глубины дна примитивным способом.

В настоящее время весьма эффективно использование эхолота для определения глубины ложа накопителя (шламохранилища) в комплексе с системами космического позиционирования (GPS-системы). Их можно разместить непосредственно на лодке совместно с персональным компьютером со специализированным программным обеспечением для обработки, планирования, интерпретации и документирования данных. Таким образом, определение объемов подводных отложений хвостов и жидких промышленных отходов в накопителе можно свести к следующим задачам:

- измерению глубины дна с помощью эхолота;
- координатной GPS-привязке места измерения глубины;
- построению цифровой модели дна шламохранилища;
- вычислению объемов шлама и рассолов.

Практическая схема решения такой задачи, реализованная на шламохранилищах ОАО «Беларускалий», представлена на рис. 1.

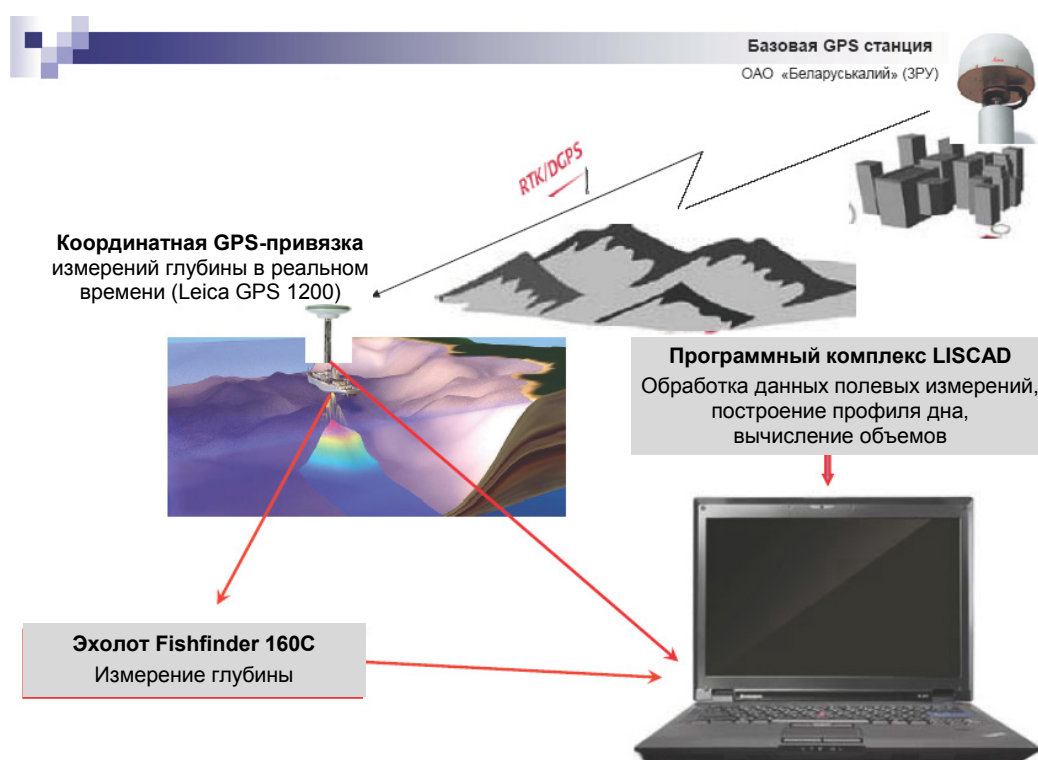


Рис. 1. Схема автоматизированной системы определения объемов подводных отложений хвостов и жидких промышленных отходов в накопителе

Fig. 1. Diagram of automated system for volume determination of tailing underwater sediments and liquid industrial wastes in storage tank

Первая из перечисленных задач оказалась одной из самых трудоемких в методическом плане, поскольку использование серийных эхолотов для определения глубины шламохранилища осложняется тем, что среди их множества подавляющее большинство используется рыбаками-любителями в пресных водоемах. И лишь небольшая часть спектра эхолотов предназначена для профессионального картографирования дна водоемов и работы в соляной (морской) воде. Информация же о возможности выполнять эхолотом измерения глубины дна в концентрированном соляном растворе в литературных источниках весьма незначительна.

Как известно, эхолот, или сонар (англ. sonar, аббревиатура от Sound navigation and ranging), – устройство для исследования рельефа дна водного бассейна с помощью акустического излучения. Датчик эхолота излучает узконаправленный ультразвуковой сигнал в воду и получает обратно отраженный сигнал от плавающих предметов, рыбы и донной поверхности. По времени, за которое сигнал прошел до отраженных поверхностей и обратно, опреде-

ляется расстояние. Эхолот, как и любой другой измерительный прибор, неизбежно содержит погрешности в своих показаниях. Поэтому необходимо периодически контролировать точность его работы. Обычно проверка точности эхолота выполняется перед началом выполнения исследований.

Погрешности измерения глубины эхолотом делятся на случайные и систематические. Случайные погрешности возникают из-за нестабильности работы электронного тракта прибора, шумов приемника отраженного сигнала, неровностей дна, неоднородностей грунта. Проявляются они как частые изменения результатов измерений на индикационном дисплее эхолота.

Систематические погрешности обусловлены, как правило, следующими причинами:

- отклонением фактической скорости звука в воде от расчетного значения, заложенного в вычислительное устройство эхолота;
- разнесением вибратора-излучателя от вибратора-приемника;
- неточной установкой нуля глубин.

Причины возникновения систематических погрешностей перечислены по мере их убывания. Вторую причину можно исключить (используя совмещенную антенну и отражатель). Третья в рассматриваемом случае очень мала. Поскольку измерения проводятся при небольшом волнении, наибольший вклад в суммарную систематическую погрешность вносят отклонения фактической скорости звука. При этом данные погрешности могут достигать значительных величин, так как они будут пропорциональны измеряемой глубине: чем больше глубина, тем больше и систематическая погрешность. По этой причине скорость распространения звука в жидких глинисто-солевых шламах существенно отличается от скорости в пресной или морской воде. Поэтому в рассматриваемом случае использовать непосредственно эхолот не представляется возможным.

В общем виде скорость распространения звука в однородных средах описывается достаточно сложным дифференциальным уравнением. В данной статье для вычисления реальной глубины дна шламохранилищ использовали приближенные формулы, учитывающие температуру и соленость жидких глинисто-солевых шламов [3–8]:

$$H = H_0 + \Delta H, \quad (1)$$

где H_0 – глубина, измеренная эхолотом, м; ΔH – систематическая погрешность измерения глубины эхолотом вследствие отклонения фактической скорости звука, м,

$$\Delta H = H_0(C - C_p)/C_p; \quad (2)$$

C_p – расчетная скорость звука в чистой воде, м/с; C – фактическая скорость звука в соляном растворе, м/с.

Теория Вильсона (1960) для нулевой глубины дает следующее значение скорости звука:

$$C = 1449,2 + 4,623T - 0,0546T^2 + 1,39(S - 35), \quad (3)$$

где C – скорость звука, м/с; T – температура, °C; S – соленость, ‰.

Соленость – содержание солей в воде, измеряется в ‰ (промилле) или в единицах PSU (Practical Salinity Scale). Другими словами, соленость в промилле – это количество твердых веществ (в граммах), растворенное в 1 кг морской воды, при условии, что все галогены заме-

нены эквивалентным количеством хлора, все карбонаты переведены в окислы, органическое вещество сожжено.

Модельные вычисления, выполненные с использованием формулы (1) для наиболее характерных параметров шламохранилища, предоставленных маркшейдерской службой за десятилетний период наблюдений, приведены в табл. 1:

- соленость 266 ‰ – максимальная;
- соленость 253 ‰ – средняя;
- соленость 180 ‰ – минимальная.

Таблица 1

**Коэффициенты изменения скорости звука
в соляных растворах**

Sound velocity change coefficient in brine solution

Номер п/п	Соле- ность, ‰	Коэффициент изменения скорости звука C/C_p при t , °C			
		23	18	15	5
1	266	1,37	1,36	1,36	1,33
2	253	1,36	1,35	1,34	1,32
3	220	1,32	1,31	1,31	1,28
4	180	1,28	1,27	1,27	1,24

Из приведенных данных следует, что при средней солености растворов шламохранилища 253 ‰, изменениях температуры рассолов от 23 до 15 °C существенных изменений в измеряемой глубине дна не будет наблюдаться. Так, при глубинах около 5 м (в рассматриваемом случае – это в районе максимальных из наблюдаемых глубин) и среднем коэффициенте $C/C_p = 1,35$ систематическая погрешность измерения глубины эхолотом не будет превосходить 5 см. Для глубин, меньших 5 м, такая погрешность еще меньше. Таким образом, в диапазоне температур жидких шламов (15–23) °C определяющим в изменении скорости звука будет их соленость.

Правильность приведенных выше соотношений была проверена эмпирическим путем. Для этого глубина, измеренная с помощью эхолота, корректировалась с учетом формул (1), (2). Температуру жидких шламов определяли путем прямого измерения, соленость шламов – по данным ведомственной лаборатории ОАО «Беларуськалий». Полученный результат сопоставляли с измерениями, выполненными прямым способом.

Дно покрыто взвесью шлама, который уплотняется с увеличением толщины слоя, причем градиент уплотнения возрастает в глубину. Вследствие этого глубина, измеряемая, например, с помощью вехи, существенно зависела от вертикальных усилий, которые прилагались при ее установке. Небольшие усилия изменяли проникновение вехи в шлам на десятки сантиметров. Так, на небольших глубинах при визуальной оценке до границы слоя взвеси порядка 20–40 см веха могла проникать на глубину порядка метра и более. Таким образом, прилагать одинаковые вертикальные усилия при контроле глубины вехой не представлялось возможным.

В основу контрольных измерений глубины положен способ, который базировался на опускании в соляной раствор круглого груза массой 2 кг. К круглому грузу привязывали промаркированную веревку и глубину, измеренную эхолотом, сопоставляли с глубиной, измеренной веревкой с грузом. В случае необходимости с лодки опускали якорь, для того чтобы зафиксировать лодку на месте (исключить ее дрейф). Фиксированный вес груза обеспечивал одинаковое во всех измерениях его проникновение во взвесь шлама. Результаты сопоставительного анализа измерений глубины дна шламохранилища с помощью эхолота, веревки с грузом и скорректированные величины измерения эхолота с учетом температуры и солености жидких шламов приведены на рис. 2. Контрольные измерения выполняли при температуре жидких шламов 23 °С, солености 255 ‰.

На рис. 2 видно, что максимальные различия между глубинами, измеренными веревкой с грузом и эхолотом, наблюдаются в диапазоне больших глубин шламохранилища. Это можно объяснить как повышенными требованиями к точности исходных данных (температуре и солености шламов) на момент съемки, так и некоторым несоответствием модели распространения звука в реальных жидких шламах, поскольку в них, кроме растворенных веществ, могут содержаться и другие – нерастворенные. Для малых глубин до 0,5 м наблюдаются отклонения в измерении глубины эхолотом с другим знаком. Этот факт можно объяснить влиянием, кроме перечисленных выше причин, еще и работой эхолота на предельном допуске диапазона измерений.

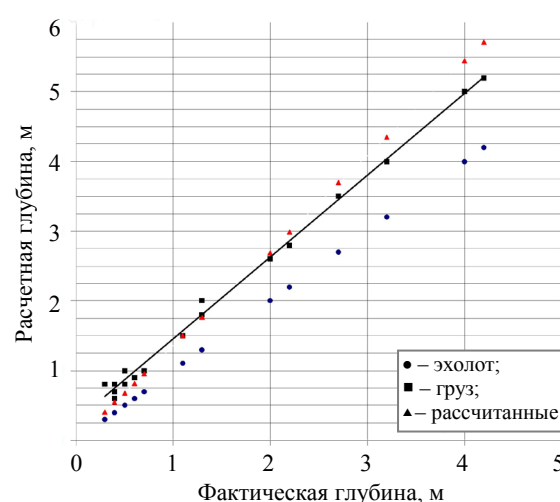


Рис. 2. Контрольные измерения глубины шламохранилища

Fig. 2. Control measurements of slime storage depth

Описанный подход был апробирован на шламохранилище «Карта 8» ОАО «Беларуськалий». Датчик эхолота монтировали под днищем лодки на глубине 10 см от уровня рассолов в шламохранилище. Антенну GPS-приемника устанавливали над датчиком эхолота. Плановую привязку выполняли в режиме реального времени с использованием постоянно действующей базовой станции. Координаты точек промера глубины дна на поверхности определяли в местной системе координат GPS-приемниками серии GPS1200 швейцарского концерна Leica Geosystems AG.

После ввода данных координатной привязки и соответствующих им откорректированных глубин в пакете программных средств LISCAD Plus SEE выполняли моделирование рельефа дна, т. е. формирование цифровой модели местности на основе метода строгой триангуляции. Создание цифровой модели позволяет достаточно просто вычислить объем между дном шламохранилища и выбранным уровнем (высотой наполнения). При этом определить объем и площадь можно не только выше, но и ниже отсчетной поверхности. Создав цифровые модели на разные временные периоды эксплуатации шламохранилища, можно оценить количество твердых шламов, которые скопились в нем.

Для полевых данных выполнили обработку в соответствии с описанными этапами. Всего обработано и проанализировано более 500 наблюдений, включая и вспомогательные наземные измерения. В результате для построения

цифровой модели дна шламохранилища использовали порядка 330 точек с измеренными глубинами. По цифровой модели рельеф дна был отображен горизонталями в традиционном виде. Выполнены вычисления объемов для различных уровней заполнения шламохранилища жидкими глинисто-солевыми шламами. Для визуализации дна шламохранилища использовали программный модуль 3D View LISCAD Plus SEE, который позволяет в интерактивном режиме анализировать объемное изображение профиля дна шламохранилища (рис. 3).

Оценка точностных характеристик полученных результатов при определении объемов твердых и жидких шламов в накопителе является важным аспектом при принятии правильных решений для осуществления стабильной эксплуатации шламохранилищ. На практике использовать прямые методы оценки (например, заполнение тарированных емкостей и т. д.) не представляется возможным.

В классической маркшейдерии для вычисления объемов используются данные планово-высотной съемки поверхности горных пород, полученные методом тахеометрической или фототеодолитной съемки. При этом предполагается, что для повышения точности вычисления объема пород необходимо располагать большим количеством съемочных точек. Однако общее число точек не регламентируется

и количественная оценка результатов определения объемов не предполагается. В настоящей статье предложен практически удобный и простой способ оценки точности полученных результатов, широко применяемый в вычислительной математике. Он заключается в следующем.

Из всех точек планово-высотной съемки выделяются точки с четными номерами. На их основе строится цифровая модель, и для нее вычисляется объем. Для нечетных номеров точек планово-высотной съемки построения повторяются. Вычисленные объемы сравниваются. Если различия, вычисленные по четным и нечетным точкам, находятся в допустимых пределах, то объем принимается равным их среднему значению и считается, что определение выполнено с требуемой точностью.

Как отмечалось выше, после обработки полевых измерений получены 328 точек с координатами дна шламохранилища. По всем этим точкам построена цифровая модель и вычислено количество рассолов для уровня с абсолютной высотной отметкой 167,0 м (в местной системе координат).

Далее для всех 164 точек с четными номерами (идентификаторами) также построена цифровая модель и вычислено количество рассолов для уровня 167,0 м. Для 164 точек с нечетными номерами выполнены аналогичные расчеты. Полученные результаты приведены в табл. 2

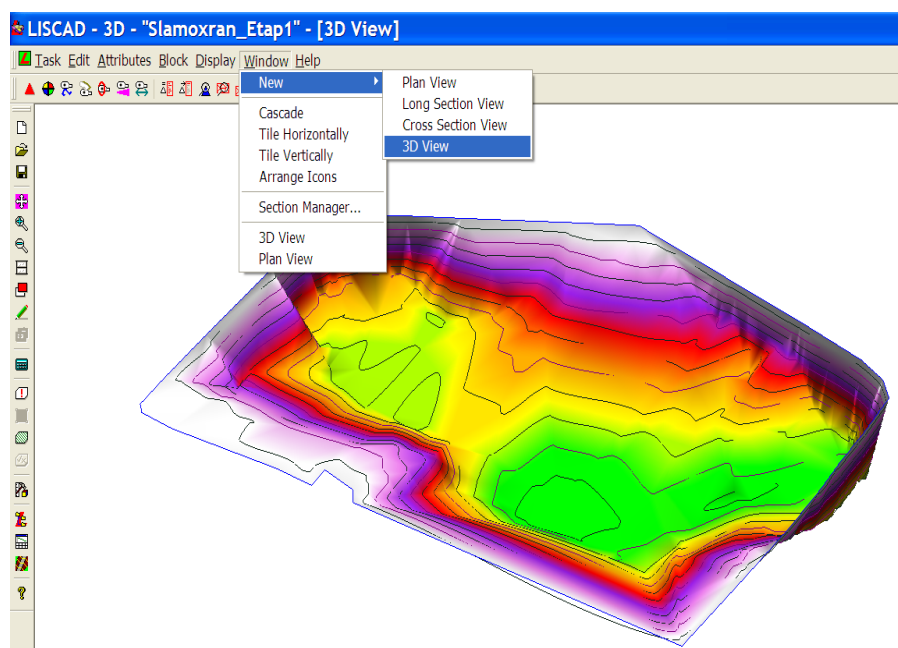


Рис. 3. Цифровая модель дна шламохранилища

Fig. 3. Digital model of slime storage bottom

Таблица 2
Погрешности вычисления объемов
Errors in volume calculations

Номер п/п	Точка	Вычисленный объем, м ³	Различия между вычисленными объемами, %
1	328 (все)	2884042	
2	164 (четные)	2847318	1,27
3	164 (нечетные)	2865780	0,63

В четвертом столбце табл. 2 приведены значения объемов в процентах, вычисленных по 164 точкам от объема, определенного по 328 точкам. Из табл. 2 видно, что различия не превышают 1,5 % и, следовательно, количество точек, используемых для вычисления объемов, достаточно. Кроме того, изменение высот на 10 см (погрешность определения глубины эхолотом) приводит к большему отличию в вычислении объема. Так, объем рассолов, найденный для высотной отметки 167,1 м (на 10 см больше), составляет 2968580 м³, что на 2,88 % больше, чем для 167,0 м. Или, иными словами, погрешность в измерении глубины дна шламохранилища в 10 см приводит к погрешностям

определения рассолов для данного шламохранилища около 3 %.

Другой существенный аспект, влияющий на погрешность определения объемов, – выбор расположения точек. Поэтому рельеф дна шламохранилища характеризуется различающимися градиентами изменения глубины. Причем в ряде случаев существенно (рис. 4а). Из рис. 4 видно, что изменение глубины у северо-западного берега достигает до 4 м. В то время как западный и восточные берега достаточно пологие и не отличаются большим градиентом изменения глубины. Для сравнения, на рис. 4б приведен рельеф дна шламохранилища, полученный на основе традиционных измерений в 2003 г.

При общем подобии рис. 4а и б все же наблюдаются и различия в структуре дна шламохранилища у северо-западного и южного берегов. Здесь в отличие от рельефа дна 2011 г. рельеф 2003 г. не характеризуется большим градиентом изменения глубины.

Это различие может быть объяснено погрешностями построения рельефа дна, обусловленными недостаточным количеством и местом исходных измерений для более достоверного построения поверхности дна шламохранилища.

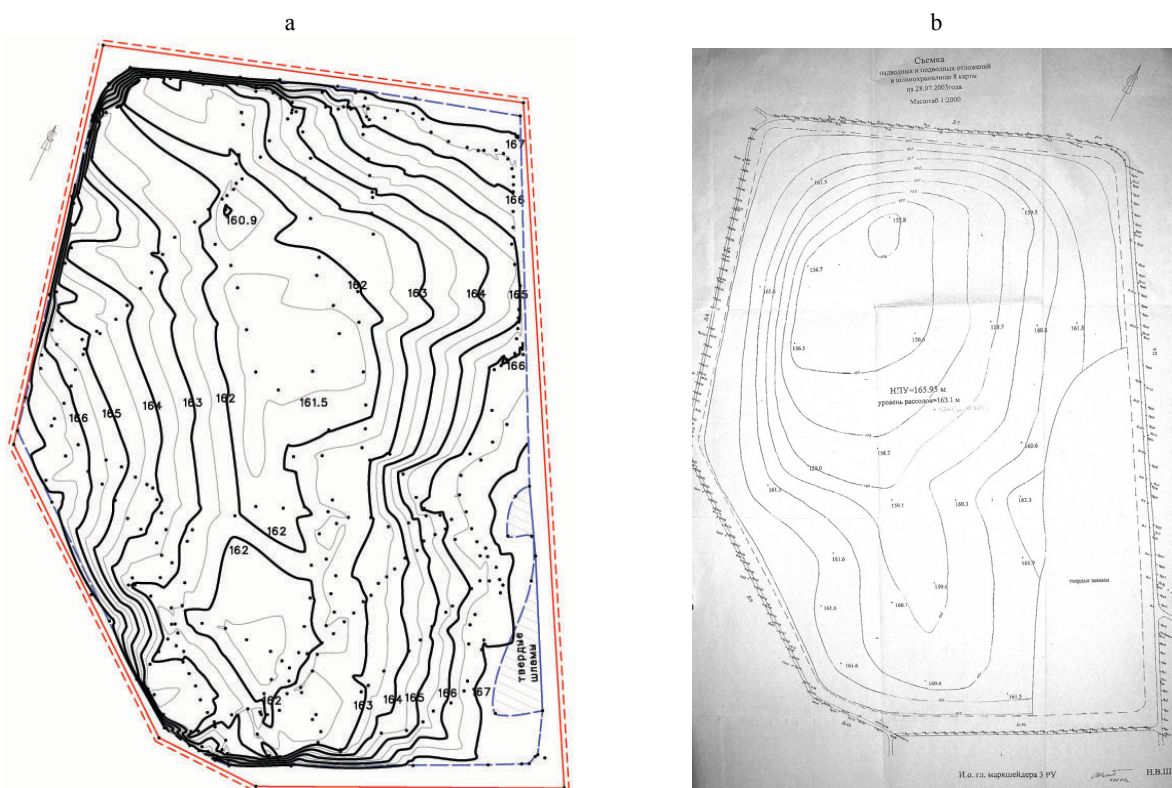


Рис. 4. План дна шламохранилища «Карта 8» масштаба 1:5000: а – сентябрь 2011 г.; б – июль 2003 г.

Fig. 4. Lay-out of slime storage “Map 8”, scale 1:5000: а – September, 2011; б – July, 2003

ВЫВОД

Описанная методика определения подводных отложений хвостов и жидких промышленных отходов в накопителе (шламохранилище) позволяет существенно сократить время полевых работ, повысить оперативность и точность получаемых результатов и решить вопросы мониторинга окружающей среды [9, 10]. Установленный на борту лодки эхолот может в автоматическом режиме регистрировать глубину дна шламохранилища с привязкой плановых координат измерений высокоточным GPS-приемником. При этом цифровая регистрация всех измерений сводит к минимуму время камеральной обработки и документирования результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила безопасности при эксплуатации хвостовых и шламовых хозяйств горнорудных и нерудных организаций / Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. 2007. № 8/16318.
2. Корнеев, В. И. Красные шламы. Свойства, складирование, применение / В. И. Корнеев, А. Г. Сусс, А. И. Цеховой. М.: Металлургия, 1991. 144 с.
3. Тяшкевич, И. А. Сейсмичность Солигорского промышленного района и ее связь с неогеодинимическими зонами / И. А. Тяшкевич, В. Н. Губин, А. П. Емельянов // Калийные соли Беларуси: состояние, освоение месторождений, перспективы развития, проблемы: тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф., 1999. С. 56–60.
4. Позняк, А. С. О геодезическом контроле строящихся и эксплуатируемых зданий и сооружений / А. С. Позняк, В. И. Михайлов // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. 2006. № 3. С. 18–20.
5. Комплекс программно-технических средств для определения профиля дна шламохранилища глинисто-солевых шламов / В. Э. Зейтц [и др.] // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 10-й Междунар. науч.-техн. конф.: в 4 т. Минск: БНТУ, 2012. Т. 3. С. 39.
6. Ковалев, А. А. Мониторинг состояния природной среды Солигорского района на основе ГИС-технологий / А. А. Ковалев, В. Н. Кузьмин // Калийные соли Беларуси: состояние, освоение месторождений, перспективы развития, проблемы: тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф., 1999. С. 137–139.
7. Новые системы спутникового позиционирования Leica Viva GNSS / А. А. Ковалев [и др.] // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 9-й Междунар. науч.-техн. конф.: в 4 т. Минск: БНТУ, 2011. Т. 3. С. 34.
8. Бергман, Л. Ультразвук и его применение в науке и технике / Л. Бергман. М.: Иностран. лит., 1957. 728 с.
9. Михайлов, В. И. Мониторинг природных ландшафтов Солигорского промышленного района на основе дистанционного зондирования / В. И. Михайлов, И. А. Тяшкевич // География и проблемы регионального развития Белоруссии. Минск: Вышэйш. шк., 1985. С. 85–90.
10. Экспериментальный геодезический мониторинг Солигорских солеевалов на основе инновационных технологий / В. И. Михайлов [и др.] // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 12-й Междунар. науч.-техн. конф.: в 3 т. Минск: БНТУ, 2014. Т. 3. С. 46.

Поступила 21.12.2015

Подписана в печать 08.02.2016

Опубликована онлайн 30.03.2016

REFERENCES

1. Safety Instructions on Operation of Tailing and Slime Facilities of Mining and Non-Metallic Enterprises. Decision of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus. *Natsionalnyi Reestr Pravovykh Aktov Respubliki Belarus* [National Inventory of Legal Materials of the Republic of Belarus], 2007, (8/16318) (in Russian).
2. Korneev V. I., Souss A. G., Tsekhevoy A. I. (1991) *Red Mud. Properties, Storage, Application*. Moscow, Metallurgiya. 144 (in Russian).
3. Tyashkevich I. A., Goubin V. N., Emelyanov A. P. (1999) Seismic Activity of the Soligorsk Industrial Zone and its Relation with Neo-Geodynamic Zones. *Kalijnye Soli Belarusi: Sostojanie, Osvoenie Mestorozhdenij, Perspektivy Razvitiya, Problemy: Tez. Doklad. Mezhdunar. Nauch.-Prakt. Konf.* [Potassium Salts in Belarus: State, Deposit Development, Prospects, Problems: Report Abstracts of International Scientific and Practical Conference], 56–60 (in Russian).
4. Poznyak A. S., Mikhailov V. I. (2006) On Geodesic Control Over Buildings and Facilities Which are Under Construction and Which Have Been Constructed. *Avtomatizirovannye Tehnologii Izyskanij i Proektirovanija* [Automated Surveying and Design Technologies], (3), 18–20 (in Russian).
5. Zeits. V. E., Kuzmin V. N., Kononovich S. I., Chiberkus Yu. N., Tereshina O. Ju. (2012) Complex of Software and Hardware Tools for Determination of Bottom Profile in Slime Storage for Clay-Salt Slime. *Nauka – Obrazovaniyu, Proizvodstvu, Ekonomike. Materialy 10 Mezhdunar. Nauch.-Tekhn. Konf. T. 3* [Science to Education, Industry, Economics. Proceedings of 10th International Science and Technical Conference. Vol. 3]. Minsk: BNTU, 39 (in Russian).
6. Kovalev A. A., Kuzmin V. N. (1999) Monitoring of Natural Environment State in the Soligorsk Region on the Basis of GIS-Technologies. *Kalijnye Soli Belarusi: Sostojanie, Osvoenie Mestorozhdenij, Perspektivy Razvitiya, Problemy: Tez. Doklad. Mezhdunar. Nauch.-Prakt. Konf.* [Potassium Salts in Belarus: State, Deposit Development, Prospects, Problems: Report Abstracts of International Scientific and Practical Conference], 137–139 (in Russian).
7. Kovalev A. A., Chiberkus Yu. N., Kononovich S. I., Tereshina O. Ju. (2011) New Satellite Positioning Systems Leica Viva GNSS. *Nauka – Obrazovaniyu, Proizvodstvu, Ekonomike. Materialy 9 Mezhdunar. Nauch.-Tekhn. Konf. T. 3* [Science to Education, Industry, Economics. Proceedings of 9th International Science and Technical Conference. Vol. 3]. Minsk: BNTU, 34 (in Russian).
8. Bergman, L. (1957) *Ultra-Sound and its Application in Science and Technology*. Moscow, Inostrannaya Literatura. 728 (in Russian).
9. Mikhailov V. I., Tyashkevich I. A. (1985) Monitoring of Natural Landscape in the Soligorsk Industrial Zone on the Basis of Remote Sensing. *Geografija i Problemy Regionalnogo Razvitiya Belorussii* [Geography and Problems of Regional Development in Belarus]. Minsk, Vyshhejshego Shkola, 85–90 (in Russian).
10. Mikhailov V. I., Koljago M. L., Nuprejchik E. A. (2014) Experimental Geodesic Monitoring of the Soligorsk Salt Tailings Piles on the Basis of Innovation Technologies. *Nauka – Obrazovaniyu, Proizvodstvu, Ekonomike. Materialy 12 Mezhdunar. Nauch.-Tekhn. Konf. T. 3* [Science to Education, Industry, Economics. Proceedings of 12th International Science and Technical Conference. Vol. 3]. Minsk: BNTU, 46.

Received: 21.12.2015

Accepted: 08.02.2016

Published online: 30.03.2016

УДК 627.82.550.34

Сравнение расчетных и наблюдаемых сейсмических ускорений в каменно-земляной плотине Днестровской ГЭС-1 при проведении экспериментальных взрывов

Инж. А. А. Матвиенко¹⁾¹⁾ООО «ГИДРОТЕХПРОЕКТ» (Харьков, Республика Украина)© Белорусский национальный технический университет, 2016
Belarusian National Technical University, 2016

Реферат. В рамках волновой теории сейсмостойкости разработана методика по определению сейсмических ускорений в плотинах из грунтовых материалов. При этом учитываются влияние основания и излучение в него сейсмических волн. Методика основана на численном решении динамической задачи методом конечных разностей. На основе разработанной методики составлена компьютерная программа SGD «Определение сейсмических ускорений в плотине из грунтовых материалов», которая позволяет найти значения ординат расчетных эпюр ускорений по высоте плотины для всех моментов времени. В результате можно получить наиболее опасные эпюры ускорений при прямом и обратном сейсмических воздействиях. Приведена верификация (проверка соответствия) расчетных и наблюдаемых сейсмических ускорений для каменно-земляной плотины Днестровской ГЭС-1. Наблюдаемые сейсмические ускорения получены при проведении экспериментальных взрывов, расчетные сейсмические ускорения – в соответствии с предложенной методикой определения сейсмических ускорений в плотинах из грунтовых материалов. Сравнительный анализ результатов расчетов с данными натурных наблюдений показал, что максимальное отличие экстремальных ускорений, полученных расчетным путем и при проведении натурных наблюдений, не превышает 10,11 % для гребня плотины и 6,56 % для ее подошвы. Результаты исследований позволяют рекомендовать разработанную программу для выполнения инженерных расчетов сейсмических ускорений в плотинах из грунтовых материалов. Применение программы даст возможность определять сейсмические ускорения в плотинах из грунтовых материалов с достаточной степенью достоверности.

Ключевые слова: плотины, грунтовые материалы, сейсмические ускорения, экспериментальные взрывы, волновая теория сейсмостойкости, акселерограмма

Для цитирования: Матвиенко, А. А. Сравнение расчетных и наблюдаемых сейсмических ускорений в каменно-земляной плотине Днестровской ГЭС-1 при проведении экспериментальных взрывов / А. А. Матвиенко // *Наука и техника*. 2016. Т. 15, № 2. С. 139–143

Comparison of Calculated and Observed Seismic Accelerations in Composite-Type Rock-Fill Dam of the Dnestrovskaya Hydro-Electric Power Plant during Experimental Explosions

A. A. Matvienko¹⁾¹⁾LLC “GIDROTEKHPROEKT” (Kharkov, Republic of Ukraine)

Abstract. A methodology for determination of seismic accelerations in earth dams has been developed within the framework of seismic resistance wave theory. In this case we take into account an influence of the dam foundation and seismic wave emission into it. The methodology is based on numerical solution of the dynamic problem while using a finite difference method. A software program SGD “Determination of seismic acceleration in the earth dam” has been prepared on the basis of the developed methodology. The program allows to evaluate ordinates of calculation orthographic representations for acceleration throughout the dam height for all time moments. Thus, it is possible to obtain the most dangerous acceleration orthographic representations at direct and reverse seismic actions. The papers presents verification (compliance test) of calculated and observed seismic accelerations for the rock-fill dam of the Dnestrovskaya Hydro-Electric Power Plant No 1. The observed

Адрес для переписки
Матвиенко А. А.
ООО «ГИДРОТЕХПРОЕКТ»
ул. Ромена Роллана, 12,
61058, г. Харьков, Республика Украина
Тел.: +380 57 717-57-41
matvienko_nastya89@mail.ru

Address for correspondence
Matvienko A. A.
LLC “GIDROTEKHPROEKT”
12 Romen Rollan str.,
61058, Kharkov, Republic of Ukraine
Tel.: +380 57 717-57-41
matvienko_nastya89@mail.ru

seismic accelerations have been obtained during experimental explosions. The calculated seismic accelerations have been obtained in accordance with the proposed methodology for determination of seismic accelerations in the earth dams. A comparative analysis of calculation results with the data of field observations has demonstrated that a maximum difference between extreme accelerations obtained by calculation, and during field observations, do not exceed 10.11 % for the dam crest, and 6.56 % for its bottom. The obtained results permit to recommend the developed program for engineering calculations of seismic accelerations in the earth dams. The program application will make it possible to determine seismic acceleration in the earth dam with sufficient reliability.

Keywords: dams, earth materials, seismic accelerations, experimental explosions, wave theory of seismic resistance, accelerometer

Forcition: Matvienko A. A. (2016) Comparison of Calculated and Observed Seismic Accelerations in Composite-Type Rock-Fill Dam of the Dnestrovskaya Hydro-Electric Power Plant during Experimental Explosions. *Science & Technique*. 15 (2), 139–143 (in Russian)

Введение

К гидротехническим сооружениям, в том числе и к плотинам из грунтовых материалов, возводимым в сейсмически опасных районах, предъявляются требования, обеспечивающие их устойчивость и прочность при землетрясениях [1–3]. Для оценки сейсмостойкости плотины из грунтовых материалов выполняются расчеты устойчивости ее откосов с учетом инерционных сейсмических нагрузок. Такие нагрузки пропорциональны сейсмическим ускорениям, развивающимся в теле сооружения при землетрясении. Поэтому важнейшей задачей является определение распределения сейсмических ускорений по высоте плотины.

В [4, 5] предложена новая методика решения задач по определению сейсмических ускорений в плотинах из грунтовых материалов на основе наиболее достоверной волновой теории сейсмостойкости. В настоящей статье для каменно-земляной плотины Днестровской ГЭС-1 выполнена верификация (проверка соответствия) расчетных данных, полученных с помощью предложенной методики определения сейсмических ускорений в плотинах из грунтовых материалов, и данных натурных наблюдений при проведении экспериментальных взрывов.

Описание методики

Изложенная в [4, 5] методика основана на численном интегрировании полученных динамических уравнений равновесия для плотины в виде упругого сдвигового клина, расположенного на деформируемом основании. При выполнении численного интегрирования уравнений динамического равновесия применяется явная трехслойная по времени конечно-разностная схема. В качестве исходных данных используются осредненные динамические характеристики грунтов тела плотины (динамический модуль сдвига G и скорость распространения поперечных волн v_s) и грунтов основа-

ния (динамический модуль сдвига G_0 и скорость распространения поперечных волн v_{s0}). Сейсмическое воздействие задается в виде сейсмограммы в районе размещения плотины до ее возведения. Методика определения ординат расчетных сейсмограмм по обычно известным ординатам акселерограмм приведена в [6].

В результате решения указанной задачи во всех расчетных узлах i по высоте плотины в расчетные моменты времени t могут быть определены значения перемещений u . В каждом расчетном узле по высоте плотины i перемещение u может рассматриваться как функция времени t , т. е. $u = u(t)$. Тогда сейсмические ускорения a в узле i могут быть получены численным дифференцированием функции перемещений в центрированных разностях.

Отметим, что разработанная методика позволяет учесть трансформации исходной сейсмограммы землетрясения вследствие наличия плотины и излучение сейсмических волн в основание. На основе данной методики составлена компьютерная программа SGD «Определение сейсмических ускорений в плотине из грунтовых материалов», позволяющая получить значения ординат расчетных эпюр ускорений по высоте плотины для моментов времени, соответствующих наиболее опасным эпюрам ускорений при прямом и обратном сейсмических воздействиях. Эта программа широко используется в отделе расчетного обоснования сооружений ООО «Гидротехпроект» при выполнении расчетов по обоснованию сейсмостойкости проектируемых плотин из грунтовых материалов.

Конструкция каменно-земляной плотины Днестровской ГЭС-1

В настоящей работе исследовали колебания каменно-земляной плотины, которая входит в состав Днестровской ГЭС-1. Наибольшую высоту (59 м) имеет левобережная плотина гидроузла в русловой части на ПК8+40 (рис. 1).

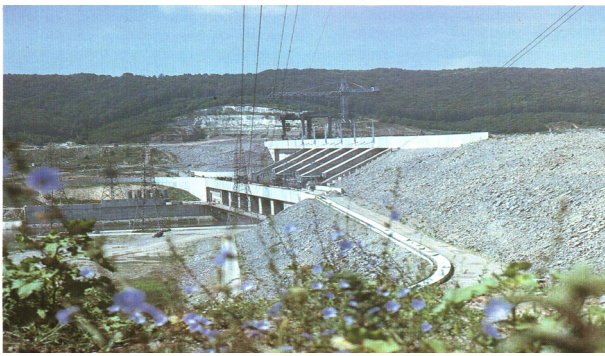


Рис. 1. Днестровская ГЭС-1.

Вид со стороны левобережной плотины

Fig. 1. Dnestrovskaya Hydro-Electric Power Plant No 1.
View from the side of left-bank dam

Левобережная плотина Днестровской ГЭС-1 имеет типичную для каменно-земляных плотин конструкцию. Она состоит из центрального ядра из суглинка и боковых призм из горной массы. Между ядром и боковыми призмами предусмотрены переходные зоны из песчано-гравийного грунта. В основании плотины залегают породы самого различного состава и генезиса – от рыхлых делювиальных отложений до крепких, очень трещиноватых, коренных, полускальных и скальных пород. Конструкция левобережной каменно-земляной плотины для самого высокого поперечного сечения показана на рис. 2.

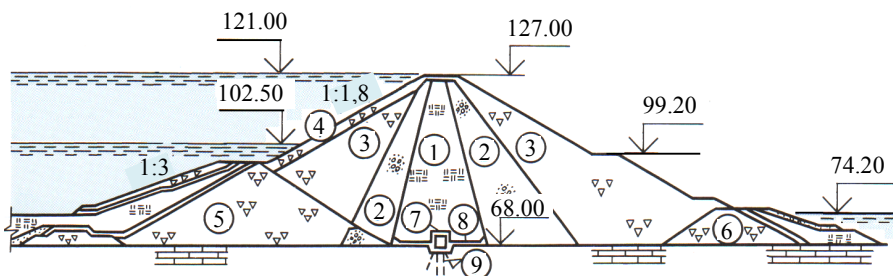


Рис. 2. Конструкция левобережной каменно-земляной плотины Днестровской ГЭС-1:

1 – ядро плотины; 2 – переходные зоны; 3 – упорные призмы; 4 – защитный слой из горной массы; 5 – верховой банкет; 6 – низовой банкет; 7 – цементационная потерна; 8 – железобетонная плита; 9 – цементационная завеса

Fig. 2. Design of left-bank rock-fill dam – Dnestrovskaya Hydro-Electric Power Plant No 1:
1 – dam core; 2 – transitional zones; 3 – dam toes; 4 – rock protective layer; 5 – upper toe; 6 – downstream toe; 7 – cement postern; 8 – reinforced concrete plate; 9 – cement-grout curtain

Исследования колебаний плотины Днестровской ГЭС-1

Предприятием «Региональный центр геофизических исследований» в рамках темы «Оценка влияния буровзрывных работ на грунтовые и бетонные сооружения Днестровской ГЭС-1» выполнены сейсмологические исследования с использованием экспериментальных взрывов.

Эти взрывы проводились 18 октября 2013 г. в карьере, расположенном на расстоянии от основных сооружений ГЭС примерно 500 м ниже по течению на левом берегу р. Днестр.

Для регистрации колебаний сооружений использовали контрольно-измерительную аппаратуру (сейсмографы). На ПК8+40 левобережной каменно-земляной плотины расположены три пункта регистрации сейсмических наблюдений (ПР1, ПР2, ПР3). На гребне плотины (отметка +127.000 м) находится ПР1, на берме низового откоса (+99.000 м) расположен пункт регистрации ПР2 и в основании плотины в потерне (+68.000 м) – ПР3.

После проведения регистрации сейсмических воздействий от экспериментальных взрывов получены записи колебаний плотины. Определены ординаты измеренных акселерограмм для каждого пункта регистрации. При этом в каждом из этих пунктов определяли три составляющие колебаний: для вертикального направления Z; горизонтальных направлений север – юг NS и восток – запад EW. Данные для указанных пунктов регистрации содержат 1024 ординаты измеренных акселерограмм по каждому из трех направлений (EW, NS, Z). Временной интервал наблюдений 0,01 с.

Наибольшие по абсолютной величине ускорения (экстремальные) имеют место в период наблюдений от первой (начало прихода сейсмической волны) до третьей секунды. Далее происходит постепенное затухание колебаний в течение последующих двух секунд. Анализ полученных акселерограмм позволил сделать вывод, что характер колебаний плотины Днестровской ГЭС-1 при экспериментальных взрывах соответствует характеру колебаний плотин из грунтовых материалов при сейсмических воздействиях.

Отметим еще одно обстоятельство. Наибольшую опасность для прочности и устойчивости откосов плотин из грунтовых материалов представляют горизонтальные сейсмические воздействия, перпендикулярные продольной оси плотины. Применительно именно к горизонтальному направлению сейсмических воздействий предложена приведенная выше методика расчетов. Поэтому для выполнения сравнения результатов расчетов с данными

наблюдений необходимо получить преобразованные экспериментальные акселерограммы для направления, перпендикулярного оси плотины.

Фрагменты преобразованных акселерограмм для рассматриваемых пунктов наблюдения показаны на рис. 3 штрихпунктирными линиями. Эти фрагменты соответствуют участкам акселерограмм с наибольшими амплитудами наблюдаемых ускорений.

Сравнение расчетных и экспериментальных данных

Для оценки достоверности изложенной в [4, 5] методики расчетов по определению сейсмических ускорений в плотинах из грунтовых материалов выполнено сравнение результатов расчета с данными натурных наблюдений за колебаниями каменно-земляной плотины Днестровской ГЭС-1 при проведении экспери-

ментальных взрывов. Расчеты производились для исходной акселерограммы землетрясения для основания сооружения. Ординаты исходной акселерограммы выполнены таким образом, чтобы различие между получаемыми значения расчетных ускорений подошвы плотины минимально отличались от наблюдаемых значений этих ускорений. При этом использовалась программа SGD «Определение сейсмических ускорений в плотине из грунтовых материалов». В результате выполнения расчетов с использованием данной программы получены расчетные ускорения в местах размещения пунктов регистрации ПР1, ПР2, ПР3. Фрагменты акселерограмм, соответствующих этим ускорениям, показаны на рис. 3 сплошными линиями.

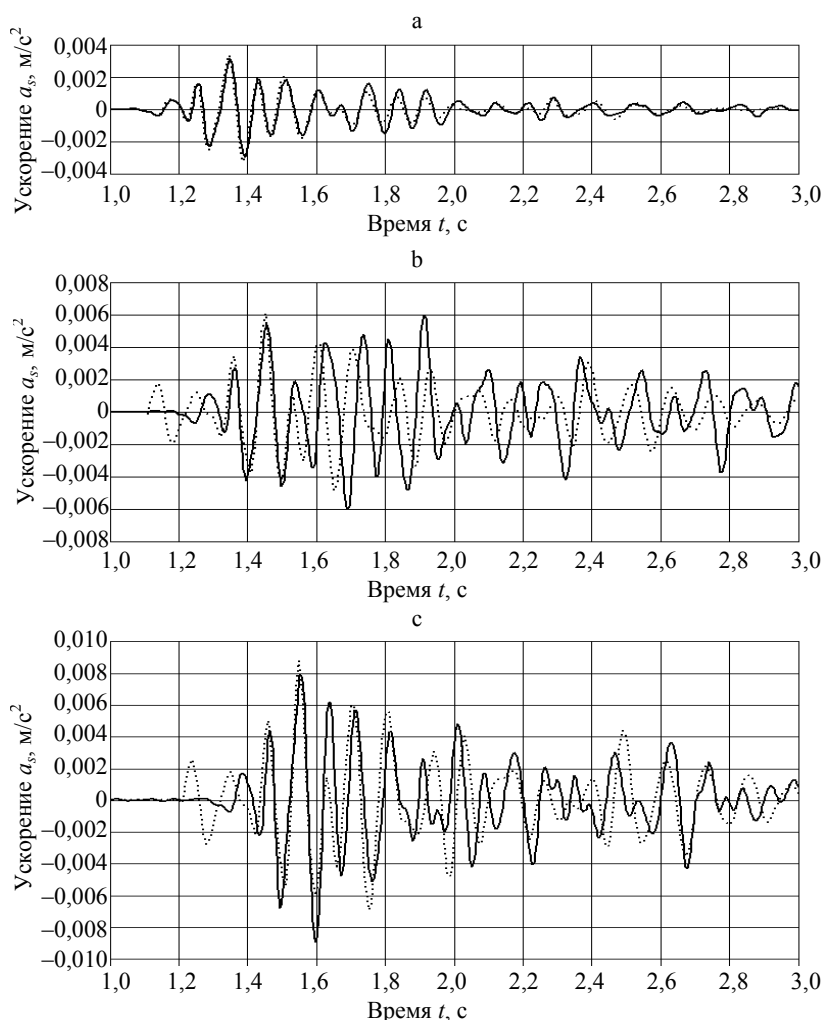


Рис. 3. Фрагменты расчетных и наблюдаемых акселерограмм каменно-земляной плотины Днестровской ГЭС-1 для пункта регистрации: а – ПР3 (подошва плотины); б – ПР2 (берма на откосе плотины); с – ПР1 (гребень плотины)

Fig. 3. Fragments of calculated and observed accelerograms of rock-fill dam – Dnestrovskaya Hydro-Electric Power Plant No 1 for registration point: а – ПР3 (dam bottom); б – ПР2 (berm at dam slope); с – ПР1 (dam crest)

Как видно из рис. 3, полученные в результате расчетов и наблюдаемые наибольшие значения экстремальных ускорений имеют место в зоне гребня плотины, а наименьшие – в зоне подошвы сооружения. Наибольшие значения экстремальных ускорений в зоне бермы плотины находятся между соответствующими значениями на ее гребне и подошве. Такой характер распределения экстремальных ускорений является типичным для плотин из грунтовых материалов.

Из сравнения данных, представленных на рис. 3, видно, что характер колебаний плотины по результатам расчетов незначительно отличается от характера колебаний сооружения по данным натурных наблюдений.

Данные о значениях расчетных и наблюдаемых экстремальных ускорениях в пунктах регистрации ПР1, ПР2, ПР3 приведены в табл. 1.

Таблица 1

Расчетные и наблюдаемые значения экстремальных ускорений в пунктах регистрации
Calculated and observed values of extreme accelerations in registration points

Пункт регистрации	Расчетное значение, мкм/с ²	Наблюдаемое значение, мкм/с ²	Отклонение, %
ПР3	3150	3372	6,56
ПР2	5931	6141	3,42
ПР1	7885	8772	10,11

Как видно из табл. 1, максимальное отличие расчетных и наблюдаемых ускорений не превышает 10,11 % для гребня плотины и 6,56 % для ее подошвы.

ВЫВОДЫ

1. Выполнена верификация (проверка соответствия) расчетных данных, полученных с помощью предложенной методики, и данных натурных наблюдений при проведении экспериментальных взрывов.

2. Сравнение результатов расчетов с данными натурных наблюдений показало, что максимальное отличие экстремальных ускорений, полученных расчетным путем и при проведении натурных наблюдений, не превышает 10,11 % для гребня плотины и 6,56 % для ее подошвы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гідротехнічні споруди. Основні положення: ДБН В.2.4-3:2010. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 37 с.
2. Будівництво у сейсмічних районах України: ДБН В.1.1-12:2014. Київ: Мінбуд України, 2014. 118 с.
3. Греблі з ґрунтових матеріалів. Основні положення: ДБН В.2.4-20:2014. Київ: Мінбуд України, 2014. 124 с.
4. Матвиенко, А. А. Методика определения сейсмических ускорений в теле и нескальном основании плотин из грунтовых материалов на основе волновой теории сейсмостойкости / А. А. Матвиенко // Вестник Национального университета водного хозяйства и природопользования. Технические науки. 2013. Вып. 2 (62). С. 276–284.
5. Вайнберг, А. И. Инженерная методика расчета сейсмических ускорений в плотинах из грунтовых материалов / А. И. Вайнберг, А. А. Матвиенко // Известия ВНИИГ имени Б. Е. Веденеева. 2014. Т. 272. С. 14–21.
6. Вайнберг, А. И. Методика определения ординат расчетных сейсмограмм при выполнении расчетов сейсмостойкости гидротехнических сооружений / А. И. Вайнберг, А. А. Матвиенко // Научный вестник строительства. 2011. Вып. 65. С. 197–202.

Поступила 03.09.2015

Подписана в печать 11.11.2015

Опубликована онлайн 30.03.2016

REFERENCES

1. DBN V.2.4-3: 2010. (2010) Hydraulic Structures. Fundamental Principles. Kiev, Minregionbud Ukraine. 37 (in Ukrainian).
2. DBN V.1.1-12: 2014. (2014) Building in Seismic Regions of Ukraine. Kiev, Minbud Ukraine. 118 (in Ukrainian).
3. DBN V.2.4-20: 2014. (2014) Earth Dams. Fundamental Principles. Kiev, Minbud Ukraine. 124 (in Ukrainian).
4. Matvienko A. A. (2013) Methodology for Determination of Seismic Accelerations in the Body and Non-Rock Foundation of Earth Dam on the Basis of Wave Theory of Seismic Resistance *Vestnik Natsionalnogo Universiteta Vodnogo Khozyaystva i Prirodopolzovaniya. Sbornik Nauchnykh Trudov. Tekhnicheskie Nauki* [Bulletin of National University for Water and Nature Management. Technical Sciences], 62 (2), 276–284 (in Russian).
5. Vaynberg A. I., Matvienko A. A. (2014) Engineering Calculation Methodology for Seismic Accelerations in Earth Dams. *Vserossiyskiy Nauchno-Issledovatel'skiy Institut Gidrotehniki imeni B. E. Vedeneeva* [Proceedings of All-Russian Scientific Research Hydrotechnical Institute named after B. E. Vedenev (VNIIG)], 272, 14–21 (in Russian).
6. Vaynberg A. I., Matvienko A. A. (2011) Methodology for Determination of Calculated Seismogram Ordinates While Calculating Seismic Stability of Hydraulic Structures. *Naukovyy Visnyk Budivnytstva* [Scientific Bulletin of Construction], (65), 197–202 (in Russian).

Received: 03.09.2015

Accepted: 11.11.2015

Published online: 30.03.2016

УДК 332.146:001.895

Инновационная безопасность: основные понятия, сущность

Докт. полит. наук, проф. В. А. Сакович¹⁾, канд. пед. наук, доц. Г. М. Бровка¹⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2016
Belarusian National Technical University, 2016

Реферат. Рассмотрены отдельные теоретические и методологические аспекты роли и значения инновационной безопасности в системе национальной безопасности государства. Анализируются основные понятия инновационной безопасности, ее сущность в период формирования инновационной экономики, экономики знаний. Особую значимость вопросы инновационной безопасности приобретают в связи с тем, что в настоящее время инновационные технологии и процессы их внедрения имеют критически важное значение для улучшения качества жизни, расширения возможностей развития и обеспечения национальной безопасности всех без исключения государств. В большинстве экономически развитых стран уже длительное время ведутся исследования, посвященные проблемам национальной и экономической безопасности. Причем инновационная составляющая в этих исследованиях рассматривается как составная часть экономической или научно-технической (научно-технологической) безопасности. За это время разработана методология изучения национальной и экономической безопасности, сложились понятийный аппарат и структура категорий национальной безопасности. Признавая важность проведенных разработок по проблематике безопасности, необходимо отметить, что системного исследования, посвященного изучению проблем обеспечения национальной безопасности в условиях инновационного развития, до настоящего времени не проводилось. Особенно это касается процессов обеспечения взаимосвязи национальной безопасности и инновационной деятельности, формирования концепции инновационной безопасности, ее реализации на практике. До настоящего времени нет однозначного толкования сущности инноваций, их влияния на национальную и экономическую безопасность. Анализ показывает, что при переходе на инновационный путь развития происходят изменения не только в экономике и ее составляющих частях, но и в мировоззренческой, психологической, политической, социально-экономической, научно-технологической, образовательной и культурной сферах, институциональных структурах государства и общества, в развитии личности. То есть затрагиваются сферы, проблемы безопасного развития которых невозможно решить в рамках экономической безопасности. Для решения этих многогранных и многоаспектных проблем, появляющихся в процессе формирования инновационной экономики и безопасного ее развития, возникает объективная потребность сформировать в рамках системы национальной безопасности новое направление – инновационную безопасность.

Ключевые слова: национальная безопасность, экономическая безопасность, инновационная безопасность, инновационное развитие, инновационная экономика

Для цитирования: Сакович, В. А. Инновационная безопасность: основные понятия, сущность / В. А. Сакович, Г. М. Бровка // *Наука и техника*. 2016. Т. 15, № 2. С. 144–153

Innovative Security: Basic Concepts, Essence

V. A. Sakovich¹⁾, G. M. Brovka¹⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. Some theoretical and methodological aspects of a role and value of innovative security in the national security system have been considered in the paper. The paper analyzes basic concepts of the innovative security, its essence in formation of innovative economy, economy of knowledge. Innovative security issues gain their importance due to the fact that nowadays

Адрес для переписки

Бровка Геннадий Михайлович
Белорусский национальный технический университет
ул. Я. Коласа, 14,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 296-66-90
ftug@bntu.by

Address for correspondence

Brovka Guennady M.
Belarusian National Technical University
14 Ya. Kolasa str.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 296-66-90
ftug@bntu.by

innovative technologies and processes of their introduction have crucial significance to ensure better quality of life, expansion of possibilities for development and provision of national security for all the countries without exclusion. Researches on problems of national and economic security have been conducted for long time in the majority of economically developed countries. And, the innovative component in these researches is considered as an integral part of economic or scientific and technical (-technological) security. During this period the methodology for studying national and economic security has been developed, a conceptual construct and a structure of national security categories have been formed. Recognizing importance of the executed researches on security problematics, it is necessary to note that the system research on national security problem under conditions of the innovative development has not been carried until the present. It especially concerns processes connected with provision of interrelation between national security and innovative activity, formation of the innovative security concept, its realization in practice. Up to the present there is no unequivocal interpretation of essence for innovations, their influence on national and economic security. The analysis shows that there are changes not only in the economy and its components in the period of transition to innovation-based development, but these changes occur also in worldview, psychological, political, social and economic, scientific and technological, educational and cultural spheres, institutional structures of the state and a society, individual development. In other words, the paper touches upon such spheres where problems on their safety development cannot be solved within the limits of economic security. There is an objective requirement in order to solve these many-sided and multi-aspect problems arising in the course of formation of innovative economy, its safety development that is to form a new direction – innovative security within the framework of the national security system.

Keywords: national security, economic security, innovative security, innovative development, innovative economy

Forcitation: Sakovich V. A., Brovka G. M. (2016) Innovative Security: Basic Concepts, Essence. *Science & Technique*. 15 (2), 144–153 (in Russian)

Во многих странах мира уже не одно десятилетие ведутся исследования, посвященные проблемам национальной и экономической безопасности. Причем инновационная составляющая в данных исследованиях рассматривается как составная часть экономической или научно-технической безопасности. За это время разработана методология изучения национальной, экономической, научно-технической безопасности, сложились понятийный аппарат и структура категорий «национальная безопасность», «экономическая безопасность», «научно-техническая безопасность», «инвестиционная безопасность».

Признавая важность проведенных разработок по проблематике безопасности, необходимо отметить, что системного исследования, посвященного изучению проблем обеспечения национальной безопасности в условиях инновационного развития, до настоящего времени не проводилось. Особенно это касается процессов обеспечения взаимосвязи национальной безопасности и инновационной деятельности, формирования концепции инновационной безопасности, ее реализации на практике. До настоящего времени нет однозначного толкования сущности инноваций, их влияния на национальную и экономическую безопасность. Многие ученые и практики государственного управления все новое в науке, технике и технологиях трактуют как инновации, а инновационную безопасность отождествляют с научно-технической или технологической безопасностью, которая формируется как совокупность условий в научной и технической сферах, обес-

печивающих выполнение требований национальной и в первую очередь научно-технической безопасности. В данном случае безопасность трактуется как безопасность государства в промышленности, научно-технической и технологических сферах экономики, подразумевая в научно-техническом прогрессе инновационную составляющую. Другая группа ученых выдвигает на первый план инвестиционную безопасность как подсистему экономической безопасности, обеспечивающую уровень надежности и безопасности инновационных процессов [1]. Нет четкого научного мнения и о том, является ли инновационная безопасность самостоятельным объектом или ее надо рассматривать в составе экономической безопасности. Чаще всего определяется место инновационной деятельности в системе экономической безопасности [2], причем утверждается, что «в системе экономической безопасности инновационная деятельность проявляется в виде достаточно сложных составляющих ее элементов...» [3]. И только некоторые ученые вводят термин инновационной безопасности, понимая ее как «состояние защищенности экономики, которое обеспечивало бы конкурентоспособность результатов НИОКР и выпускаемой продукции на отечественном и мировом рынках, способность экономики обеспечивать устойчивое развитие и противодействовать негативным факторам, имеющим место на глобальных рынках» [4]. То есть фактически инновационную безопасность сводят опять же к научно-технической безопасности.

В официальных документах стран постсоветского пространства также нет четкого понимания важности этих проблем, а есть определенная констатация инновационной составляющей в научно-технологических разделах. Так, в Стратегии национальной безопасности Российской Федерации (2009 г.) упоминается технологическая безопасность, трактуемая многогранно: и как государственная инновационная и промышленная политика, и как фундаментальная и прикладная наука, образование, а также как развитие государственно-частного партнерства в сфере науки и технологий, создание условий для интеграции науки, образования и промышленности. В Концепции национальной безопасности в Республике Беларусь (2010 г.) рассматривается только научно-технологическая безопасность и трактуется она как «состояние отечественного научно-технологического и образовательного потенциала, обеспечивающее возможность реализации национальных интересов Республики Беларусь в научно-технологической сфере». Правда, одним из основных национальных интересов в научно-технологической сфере называется «формирование экономики, основанной на знаниях, обеспечение развития науки и технологий как базы устойчивого инновационного развития Республики Беларусь» [5].

Во всех программах Европейского союза, европейских и азиатских стран безопасность формирования и развития инновационной экономики обеспечивается в рамках национальной или экономической безопасности: в США – технологической безопасности [6], на постсоветском пространстве – экономической и научно-технической безопасности. Но ни в официальных документах, ни в программах развития стран данных регионов не ставится задача обеспечения инновационной безопасности. Обращается внимание на то, что в контексте обеспечения национальной безопасности с учетом формирования и развития инновационной экономики, внедрения инноваций все более важной становится проблема эффективного государственного регулирования инновационных процессов по созданию абсолютно новых экономических систем, факторов, предпосылок и условий для инновационного развития.

Проведенный авторами анализ показывает, что в процессе формирования инновационной экономики возникают различные элемен-

ты, оказывающие существенное воздействие на устойчивость и безопасность социально-экономической системы государства, что находит свое выражение в:

- создаваемых национальных системах инновационного развития, заменяющих функционирующие в государстве экономические системы традиционной экономики и нарушающих при этом устоявшийся порядок и баланс сил;
- государственных системах управления, неадаптированных к инновационному развитию;
- системах и механизмах информационной защиты инновационных процессов;
- больших финансовых затратах и коммерческих рисках;
- странах, перешедших на инновационный путь развития и существенно укрепивших свои конкурентные позиции на мировом рынке;
- появлении жестких действий конкурентов вследствие повышения конкурентоспособности инновационной продукции.

Актуальность данных вопросов значительно увеличивается в условиях современных процессов глобализации, когда нарастают вызовы и угрозы, обостряются глобальные проблемы, требующие для их решения или минимизации мощного инновационного сектора и соответствующих инновационных институтов.

Таким образом, в ходе формирования инновационной экономики перед теорией и практикой стоит задача найти пути решения ключевых проблем безопасного развития национальной экономики на инновационной основе не только внутри, но и во внешней сфере национальной безопасности с целью повышения конкурентоспособности государства на региональном и мировом уровнях. В этой связи остро стоит проблема обеспечения национальной безопасности на всех стадиях формирования инновационной экономики.

Сущность национальной безопасности в инновационной сфере можно, по мнению авторов, определить исходя из понимания теории и практики обеспечения национальной и экономической безопасности, сущности инновационной экономики. Сущность инновационной экономики проявляется в новом типе хозяйственной системы, когда в ее основе преобладают высокие технологии в производстве и высокотехнологичной продукции в экспорте с высокой долей добавленной стоимости, ведущая роль нацио-

нального интеллекта, т. е. науки, знаний, образования в создании национального богатства – до 85–90 % [7], когда в экономику идет непрерывный и комплексный поток инноваций. Таким образом, основными факторами инновационной экономики становятся наука и знания.

Сущность инновационной экономики можно рассмотреть на примере существующих моделей национальных экономик стран (экономики США и других ведущих стран мира ОЭСР), ориентированных на экономику знаний, которые предполагают, во-первых, приоритетное развитие инноваций; во-вторых, масштабные капиталовложения в науку, образование и здравоохранение как ключевые сферы жизнедеятельности современного общества, формирующие научно-техническую и инновационную базу экономики и соответствующий ей человеческий капитал; в-третьих, проведение государственной политики, направленной на выработку приоритетов развития и в значительной степени – финансового развития [8]. Особенности политики США в области науки и инноваций являются активное участие государства в формировании технологической инфраструктуры, централизованной системы управления патентными институтами, аккумуляция функций контроля и финансирования системы научно-технической информации.

Некоторые ученые понятие и сущность инновационной экономики показывают через систему параметров, показателей и характеристик развития национальной экономики [9]. К ним они относят:

- мощный экономический потенциал, способный обеспечивать производство ВВП на душу населения не ниже 15–20 тыс. дол. США и наукоемкость ВВП на уровне, превышающем критическую величину (по экспертным оценкам, 1 %);
- технологический и интеллектуальный потенциал, достаточный по уровню и интенсивности для запуска инновационного процесса в национальном масштабе (доля высоких наукоемких технологий в общем их количестве, а также в объеме экспорта; число нобелевских лауреатов; количество патентов, в том числе зарегистрированных за рубежом, на 1 млн населения, и т. д.);
- развитые инновационные (информационные, научно-технологические, кооперационные и др.) сети, охватывающие критическое боль-

шинство (75–80 %) субъектов инновационной деятельности;

- зрелую институциональную среду (совокупность формальных и неформальных институтов), благоприятствующую нововведениям;
- структуру коммерциализации новшеств и рынки научно-технической продукции, содействующие востребованности инноваций большинством (60–70 %) хозяйствующих субъектов и национальной инновационной системы в целом.

Сущность инновационной экономики проявляется также через понятия и категории, которые отражают инновационную экономику как системное явление, объединяющее в единое целое все стороны инновационной деятельности в процессе ее формирования, развития и воспроизводства.

Таким образом, проведенный анализ показывает, что сущностью инновационной экономики также является инновационная хозяйственная система, основанная на постоянном, непрерывном потоке инноваций, приоритетном развитии науки и новых знаний, развитых инновационных, научно-технических, технологических и информационных сетях, на высокообразованном человеческом капитале, востребованности инноваций абсолютным большинством субъектов хозяйствования. Анализ понятий, категорий и других элементов инновационной экономики, сущности, содержания и структуры инновационной системы позволяет определить основные подходы к дальнейшему изучению феномена инновационной безопасности и определению влияния ее на обеспечение национальной безопасности на национальном, региональном и международном уровнях. Важными вопросами при этом являются: во-первых, вычленение инновационной безопасности из общей системы безопасности, которая до настоящего времени (как указано выше) трактуется как составная часть научно-технической или экономической безопасности; во-вторых, дать понятие инновационной безопасности.

В настоящее время в науке, принимая во внимание, что инновации являются средством достижения высокой конкурентоспособности экономики, предлагается безопасность в сфере управления инвестиционными и инновационными процессами решать «с учетом приоритетных задач и реальных угроз» на «конкретных

субъектах хозяйствования», обуславливающих реализацию инвестиционной и инновационной политики [3]. То есть предлагается безопасность инновационного процесса решать методами экономической безопасности конкретно на предприятиях и в организациях.

Проведенный анализ показывает, что при переходе на инновационный путь развития происходят изменения не только в экономике и ее составляющих частях, но и в мировоззренческой, психологической, политической, социально-экономической, научно-технической, образовательной и культурной сферах, институциональных структурах государства и общества, в развитии личности. То есть затрагиваются сферы, проблемы безопасного развития которых невозможно решить в рамках экономической безопасности. Возникает объективная потребность для решения этих многогранных и многоаспектных проблем, появляющихся в процессе формирования инновационной экономики и безопасного ее развития, сформировать в рамках системы национальной безопасности новое направление – инновационную безопасность.

По мнению авторов, под инновационной безопасностью (в кратком виде) следует понимать такое состояние экономики, которое обеспечивает конкурентоспособность результатов науки, высоких технологий, высокотехнологичной выпускаемой продукции на национальном, региональном и мировом рынках, обеспечивает устойчивое развитие в условиях глобальной конкуренции. Таким образом, уровень и степень влияния инноваций на все сферы национальной безопасности как социально-экономической системы и в целом на всю систему государства, общества и личности позволяет внести научно обоснованное предложение: все процессы безопасного формирования национальной инновационной системы, инновационной экономики, внедрения инноваций рассматривать в рамках инновационной безопасности как самостоятельной сферы национальной безопасности. Необходимо также обратить внимание на два важных аспекта.

Во-первых, в современных условиях инновационная безопасность как категория современной теории национальной безопасности тесно связана с такими новыми понятиями, как «креативность», «кристаллизация новых идей и способов их реализации». Без данной категории

невозможны прорыв в экономическом развитии и обеспечение устойчивости социально-экономической системы. Действительно, в современных условиях экономика страны не может быть устойчивой и конкурентоспособной на мировом уровне без инновационного прорыва, без динамичного развития, выводящего национальную экономику на уровень развития инновационных экономик высокоразвитых стран. Если экономика не переходит на инновационный путь развития, то нет устойчивого роста и адекватной реакции на внутренние и внешние угрозы. То есть готовность выживания экономики в современных сложных ситуациях имеет неопределенный характер.

Инновационная безопасность в своем развитии, в отличие от экономической безопасности, в первую очередь опирается не на статические подходы экономического развития, а на динамические инновационно-экономические прорывы. Статическому подходу и статической теории противопоставляется динамическая теория, которая является преимущественно теорией развития, а не функционирования (Н. Д. Кондратьев, Д. Леонтьев, Й. Шумпетер, Р. Харрод [10]). Некоторые исследователи, с мнением которых авторы статьи согласны, полагают, что в основу динамического подхода положен фактор времени, его продолжительность, так как от этого зависят характер и глубина изменений, происходящих в системе [11]. Поэтому обеспечение инновационной безопасности должно рассматриваться исходя из положений динамической теории, где фактор времени влияет на ее изменяющиеся параметры.

Во-вторых, инновационная безопасность является компонентом инновационного управления экономикой, которое в ходе поэтапного формирования инновационной экономики подвержено перманентно возникающим элементам нестабильности. Экономическая нестабильность разной глубины и продолжительности – это следствие отмирания старых производств, отсутствие спроса на морально и физически устаревшую продукцию, растущего разрыва между спросом и предложением на традиционную и инновационную продукцию, рост безработицы. То есть на первоначальном этапе формирования инновационной экономики – ухудшение макроэкономических показателей.

Для преодоления нестабильности важно не только научное исследование причин ее появ-

ления, но и проведение эффективной антикризисной экономической политики [10]. Ядром такой политики должна быть разработка точных индикаторов инновационной безопасности.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод: научное понимание инновационной безопасности и исследование ее значения для успешного инновационного развития государства позволяют выявить факторы сдерживания, становления и развития инновационной экономики (экономики знаний). Это дает возможность разработать эффективную стратегию обеспечения инновационной безопасности в условиях формирования инновационной экономики, которая должна охватывать все направления государственной политики, в первую очередь в образовательной, научной, производственной, финансовой, социальной, внешнеэкономической сферах жизни общества.

В настоящее время сформировался ряд наиболее часто употребляемых понятий экономической безопасности, в том числе определение экономической безопасности через «интересы» (национальные, государственные, жизненно важные) [12], через «угрозы» безопасности государства и общества [13]. В качестве дефиниций экономической безопасности чаще всего используется синтетический вариант, когда вышеназванные подходы фигурируют в определении в той или иной комбинации [14–16].

В отличие от экономической безопасности, определение инновационной безопасности должно идти через категории способности к инновациям, саморазвитию и прогрессу с выходом на категории стабильности, устойчивости, мировой конкурентоспособности. В этом случае инновационная безопасность – это совокупность условий и инновационных факторов, обеспечивающих независимость национальной экономики, ее инновационного развития, способность к постоянному инновационному обновлению и саморазвитию, достижению устойчивости и международной конкурентоспособности.

Кроме этого, инновационную безопасность можно характеризовать как устойчивость экономической системы к воздействию внешних и внутренних факторов, а устойчивость в современных условиях требует постоянного инновационного развития и быстрее преодоления факторов нестабильности, объективно возникающих в ходе формирования инновационной

экономики. Устойчивость и развитие, в свою очередь, требуют динамического инновационного подхода к проблеме инновационной безопасности. Это, прежде всего, связано с тем, что индикаторы экономической безопасности со временем могут и должны меняться.

Важное место при разработке теории и практики обеспечения инновационной безопасности страны необходимо уделять интеграции в систему мирохозяйственных связей, совместному участию в воспроизводственном цикле, формировании мирового дохода. В данном случае акцент следует делать не только на процессы глобализации, но и на процесс становления и развития мировой инновационной системы. В этой связи инновационную безопасность можно рассматривать как создание конкурентоспособной национальной инновационной экономики, производящей инновационную продукцию с гарантированным доступом к мировым рынкам сбыта, что обуславливает распространение национальных интересов за пределы государственных границ.

Таким образом, инновационная безопасность раскрывается через такие категории, как «инновационность», «инновационная экономика», «инновационный процесс», «стабильность», «устойчивость», «конкурентоспособность», «экономическая независимость», «способность экономики к саморазвитию и инновациям», «эффективность», «глобализация». Они должны обеспечить инновационное развитие государства в соответствии с национальными приоритетами, активное участие и доминирование на внешних рынках (как минимум по отдельным направлениям производства и секторам экономики), интеграцию в систему мирохозяйственных связей.

Сущность важнейших категорий инновационной безопасности состоит в следующем:

- инновационная эффективность – инновационная трансформация национальной экономической системы, придание ей важнейших инновационных свойств на внутренних и внешних рынках – конкурентоспособности и устойчивости;
- конкурентоспособность – способность производить инновационные товары и услуги, пользующиеся спросом на внешнем и внутреннем рынках;
- экономическая независимость – достижение такого уровня состояния инновационной

экономики, эффективности, качества товаров и услуг, который обеспечивает конкурентоспособность и позволяет на равных участвовать в мировой торговле, кооперационных связях, обмене научно-техническими и инновационными достижениями и, в конечном счете, проводить независимую экономическую политику;

- стабильность и устойчивость экономики предполагают устойчиво высокие темпы экономического роста, создание надежных условий и гарантий для научной и предпринимательской инновационной активности; сдерживание факторов, способных дестабилизировать ситуацию;

- способность экономики к саморазвитию и инновационному прогрессу включает создание благоприятного климата развития инновационной экономики для инноваций, развития науки и образования, постоянное инновационное развитие производства и внедрение инновационных технологий, повышение интеллектуального потенциала, создание экономики знаний, эффективное использование человеческих ресурсов.

Главным драйвером массовой генерации инноваций и создания инновационной экономики становится высококачественный и креативный человеческий капитал. В связи с этим нельзя не согласиться с ведущими учеными М. В. Мясниковичем, П. Г. Никитенко, Б. М. Хрустальевым, Е. М. Бабосовым, которые решающую роль в переводе экономики и всех других сфер общественной жизни на инновационный путь развития видят в опережающем развитии здравоохранения, образования, культуры и науки, а важнейшим направлением многогранной и целенаправленной деятельности государства, предприятий, органов самоуправления, здравоохранения, культуры, науки, ориентированной на обеспечение устойчивого инновационного развития, должно стать, по их мнению, формирование человека – гражданина, осознающего свое положение в социальном бытии [17].

Анализ показывает, что инновационная безопасность – составная и неотъемлемая часть национальной безопасности государства. Важнейшими компонентами инновационной безопасности являются следующие ее виды:

- научно-технологическая (способность науки генерировать инновации и новые технологии);

- образовательная (способность системы образования вести подготовку кадров для работы в сферах инновационной экономики и науки). Человеческий фактор играет центральную роль в производстве инновационной продукции, в интеллектуализации и информатизации производства;

- финансовая (устойчивость финансово-бюджетной системы для обеспечения финансированием инновационного развития);

- производственная (характеризуется наличием производственной базы, восприимчивой к инновациям);

- социально-демографическая (отражающая развитие рынка труда специалистов, способных работать в условиях инновационной экономики, культуры; доступность к современному образованию);

- внешнеэкономическая (способность производить конкурентоспособную инновационную продукцию и стать органичной частью глобальной инновационной системы, во всяком случае, по важнейшим направлениям экономического инновационного развития).

Феномен инновационной безопасности связан с развитием социально-экономических объектов и является производным от них. Бытие целого – национальной инновационной системы – предопределяет необходимость сохранения его существования, что является началом постижения феномена инновационной безопасности. В субъектном пространстве бытие тесно связано с категорией «интерес» и определяет направленность взаимодействия субъекта в окружающем пространстве и его саморазвитие. Проявление объективной природы объекта – национальной инновационной системы – это способность сохранять устойчивость при различных негативных разрушительных воздействиях, угрозах.

Таким образом, сущностью инновационной безопасности государства в современных условиях являются состояние, динамика инновационной и социально-экономической систем, общественных отношений между человеком, государством, обществом, позволяющие объективно определять и эффективно реализовывать политические и социально-экономические цели и интересы инновационного развития; устранять опасности, мешающие инновационному пути развития, угрозы политическому и социально-экономическому развитию; обеспечивать

сохранение целостности, стабильности бытия как основания существования социально-экономических объектов; гарантировать становление, развитие инновационной системы как переход от прогнозируемых к действительным, реальным состояниям; создавать условия для самосохранения, воспроизводства единства частей в рамках национальной инновационной системы и как целого в конкретных исторических условиях.

Обеспечение инновационной безопасности реализуется через определенную совокупность условий и факторов: стабильность и устойчивость национальной инновационной системы, способность ее к саморегулированию, самоорганизации и саморазвитию при различных негативных воздействиях, позволяющие ей сохранять свое качество.

Исходя из этих соображений, а также из главного свойства инновационной безопасности – системности, в структуру инновационной безопасности следует включить девять взаимосвязанных и взаимодополняющих друг друга подсистем (по структуре инновационного цикла) с соответствующими функциями и задачами по обеспечению безопасности на каждом цикле (этапе) инновационной деятельности:

- образование и кадры – подготовка и переподготовка кадров для инновационной деятельности;
- наука – создание условий для научной деятельности, производства инноваций, новых научных идей и разработок, инновационной продукции и технологий;
- инновационная инфраструктура – привлечение инвестиций в инновационную деятельность, управление (менеджмент), маркетинг;
- финансовая инфраструктура – обеспечение инновационной деятельности финансовыми средствами;
- информационная инфраструктура – обеспечение информационной безопасности инновационной деятельности;
- защита интеллектуальной собственности – защита прав на изобретения, инновационные модели, промышленные образцы;
- производственная – подготовка производства к внедрению инноваций и внедрение инновационных научно-технических и научно-технологических разработок;
- консалтинговая – оказание поддержки и продвижение результатов инновационных

научно-технических и научно-технологических разработок, инновационной продукции на отечественных и зарубежных рынках;

- реализация и коммерческое использование – продвижение инновационных научных разработок на рынках.

Перечисленные подсистемы инновационной безопасности и проведенный анализ их сущности показывают, что категория инновационной безопасности является комплексной и должна рассматриваться как система, на каждой стадии которой проводятся конкретные мероприятия по обеспечению безопасности формирования инновационного цикла. Только в этом случае можно обеспечить безопасные условия формирования национальной инновационной экономики и национальной инновационной системы. Основными элементами системы инновационной безопасности на различных уровнях подсистем инновационной деятельности являются: объекты, субъективная группа, факторы и угрозы безопасности, цели подсистем и системы в целом, функции и механизм реализации интересов и предупреждения угроз.

Процесс формирования инновационной экономики затрагивает стратегические и тактические цели развития национальной экономики, меняет способы и методы достижения целей, но принципиальные задачи развития экономики остаются прежними: устойчивость, экономическая эффективность, конкурентоспособность, экономическая независимость, способность экономики к саморазвитию и прогрессу, безопасность. Вместе с тем в плане теории обеспечения национальной безопасности важнейшей особенностью процесса формирования инновационной экономики является постоянное нарушение стабильности существующей национальной экономической системы. В связи с этим многие ученые, стоящие у истоков инновационной теории и исследующие инновационную деятельность, свои исследования посвятили изучению проблем равновесия, устойчивости, стабильности, равновесного состояния экономических систем. Так, основоположник инновационной теории Й. Шумпетер ключевую роль при формировании новых инновационных систем отводит изучению равновесных состояний. Он отмечает, что инновационная деятельность, которая может заключаться в открытии новых рынков, организации производственной деятельности, внедрении новой продукции,

технологий, смещает систему из состояния равновесия. Это, безусловно, в период формирования инновационной экономики нарушает одно из основных требований безопасности – устойчивость.

Исследования показывают, что в современных условиях формирования инновационной экономики существенное влияние оказывает процесс глобализации, в ходе которого преодолевается определенный критический порог в транснациональной мобильности факторов производства, происходит суммарное (синергетическое) влияние интернационализации на национальные экономики, которые в результате приобретают качественно новые, неизвестные ранее характеристики и особенности своего развития [18]. Данные явления, безусловно, необходимо учитывать при выработке стратегии обеспечения инновационной безопасности.

В теоретическом плане процессы глобализации исследуются в изданной под редакцией Д. Хелда и А. Макгрю монографии *Globalization Theory*, в которой показывается наличие современных теорий и нарративов глобализации, прикладных и нормативных [19], а общие понятия и положения излагаются в изданной Я. Шольте и Р. Робертсоном «Энциклопедии глобализации» [20].

Следует отметить, что в условиях формирования инновационной экономики появляется много причин, особенно на первом этапе, для возникновения параметрических изменений, выводящих систему из равновесного состояния. Такая неустойчивость экономической системы требует анализа возникающих рисков и вызовов и адекватного реагирования в рамках инновационной безопасности.

ВЫВОД

Исходя из изложенных выше теоретических разработок и проведенных исследований, для обеспечения инновационной безопасности в ходе всего цикла формирования инновационной экономики в условиях глобализации и удержания системы в равновесном состоянии необходима взаимосвязь политического, экономического, институционального аспектов, а также особая роль отводится государству. Оно играет главную роль в формировании национальных инновационных систем, уста-

новлении правил их функционирования, финансовой и материальной поддержки, а также создании системы обеспечения национальной безопасности в новых условиях функционирования экономики – инновационной экономики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сизов, Ю. И. Экономическая безопасность региона: регионализация, устойчивость бизнеса, стратегия / Ю. И. Сизов. М.: Наука, 2004. 310 с.
2. Скрыдлов, И. А. Инновационная составляющая экономической безопасности России / И. А. Скрыдлов. СПб., 2012. 157 с.
3. Экономическая безопасность: теория, методология, практика / В. Г. Булавко [и др.]; под науч. ред. П. Г. Никитенко, В. Г. Булавко. Минск: Право и экономика, 2009. С. 397–399.
4. Бурмистров, Т. В. Проблемы инновационной безопасности российской экономики [Электронный ресурс] / Т. В. Бурмистров // За ответственную власть. Режим доступа: http://www.igpr.ru/library/burmistrova_tv_problemy_innovacionnoj_bezopasnosti_rossijskoj_ekonomiki. Дата доступа: 30.09.2015.
5. Об утверждении Концепции национальной безопасности [Электронный ресурс]: Указ Президента Республики Беларусь, 9 нояб. 2010 г. № 575 // Министерство обороны Республики Беларусь. Военный информационный портал. Режим доступа: http://www.mil.by/ru/military_policy/koncept/. Дата доступа: 30.09.2015.
6. Стратегия национальной безопасности. Февраль 2015. Белый дом, Вашингтон [Электронный ресурс] // ИноСМИ.Ру. Россия сегодня. Режим доступа: http://inosmi.ru/op_ed/20150213/226255885.html. Дата доступа: 02.06.2015; Senge, P. M. *Innovation our Way to the Next Industrial Revolution* / P. M. Senge, M. Carstedt, P. L. Porter // MIT Sloan Management Review. 2001. Vol. 42, № 2. Р. 24–38; Тюрина, А. В. Инновационное финансирование как фактор социально-экономического развития стран / А. В. Тюрина // Финансовый менеджмент. 2004. № 3. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.finman.ru/articles/2004/3/2299.html>. Дата доступа: 02.06.2015.
7. [Электронный ресурс] Режим доступа: www.Pandia.ru/text/77/195/40526.php.
8. Нуреев, Р. Теория развития: дискуссия о внешних факторах становления рыночной экономики / Р. Нуреев // Вопросы экономики. 2000. № 7. С. 141–156.
9. Шимов, В. Н. Инновационное развитие экономики Беларуси: движущие силы и национальные приоритеты / В. Н. Шимов, Л. М. Крюков. Минск: БГЭУ, 2014. С. 15–16.
10. Кондратьев, Н. Д. Проблемы экономической динамики / Н. Д. Кондратьев. М.: Экономика, 1989. 526 с.; Леонтьев, В. Экономическое эссе: теории, исследования, факты и политика / В. Леонтьев. М.: Политиздат, 1990. 415 с.; Харрод, Р. К теории экономической динамики / Р. Харрод: пер. с англ. И. К. Дашковского. М.: Иностранная литература, 1959. С. 37; Шумпетер, Й. Теория экономического развития / Й. Шумпетер. М.: Эксмо, 2007. 864 с.

11. От кризиса к модернизации. Теория и опыт переходных экономик / под ред. А. Бугалина, А. Колганова, П. Шульце. М.: Слово, 1998. С. 15.
12. Видяпин, В. И. Основы экономической безопасности: государство, регион, личность / В. И. Видяпин, Е. А. Олейников. М.: ЗАО «Бизнес-школа «Интел-Синтез», 1997. С. 29.
13. Прохожев, А. А. Национальная безопасность: основы теории, сущность, проблемы / А. А. Прохожев. М.: Наука, 1990. С. 9.
14. Сенчагов, В. К. Экономическая безопасность: геополитика, глобализация, самосохранение и развитие / В. К. Сенчагов. М.: ЗАО «Финстатинформ», 2002. С. 38.
15. Загашвили, В. С. Экономическая безопасность России / В. С. Загашвили. М.: Юрист, 1997. С. 61.
16. Глазьев, С. Ю. Безопасность экономическая / С. Ю. Глазьев. М.: Мысль, 1999. С. 113.
17. Бабосов, Е. М. Философские проблемы бытия, познания, веры и культуры / Е. М. Бабосов. Минск: РИВШ, 2010. С. 18.
18. Сакович, В. А. Введение в глобалистику / В. А. Сакович. Минск: МИТСО, 2014. С. 298.
19. Held, D. Globalization Theory: Approaches and Controversies / D. Held D., A. McGrew. Cambridge: Polity. 2007. 288 p.
20. Scholte, J. A. Encyclopedia of Globalization / J. A. Scholte, R. Robertson. N.-Y.; London: Routledge, 2006.
- by/ru/military_policy/koncep/ (Accessed 30 September 2015) (in Russian).
6. Strategy of National Security. February, 2015. The White House, Washington. *Inosmi.Ru. Russia Today*. Available at: http://inosmi.ru/op_ed/20150213/226255885.html. (Accessed 2 June 2015) (in Russian); Senge P. M., Carstedt M., Porter P. L. (2001) Innovation Our Way to the Next Industrial Revolution. *MIT Sloan Management Review*, 42 (2), 24–38; Tiurina A. V. (2004) Innovative Funding as a Factor of Social and Economical Development of Countries. *Financial Management*, (3). Available at: <http://www.finman.ru/articles/2004/3/2299.html>. (Accessed 2 June 2015) (in Russian).
7. Available at: www.Pandia.ru/text/77/195/40526.php.
8. Nouriev R. (2000) Theory of Development: Discussion on External Factors for Development of Market Economy. *Voprosy Ekonomiki* [Economic Matters], (7), 141–156 (in Russian).
9. Shimov V. N., Krioukov L. M. (2014) *Innovative Development of Economy in Belarus: Driving Motives and National Priorities*. Minsk: Belarusian State Economic University, 15–16 (in Russian).
10. Kondratiev N. D. (1989) *Problems of Economic Dynamics*. Moscow, Ekonomika. 526 (in Russian); Leontiev V. (1960) *Economic Essay. Theories, Investigations, Factors and Politics*. Moscow, Politizdat, 1960. 415 (in Russian); Harrod R. (1959) *Towards Economic Dynamics*. Moscow, Inostrannaia Literature, 37 (in Russian); Schumpeter J. (2007) *Theory of Economic Development*. Moscow, Eksmo. 864 (in Russian).
11. Buzgalin A., Kolganov A., Schultze P. (1998) *From Crisis to Modernization. Theory and Experience of Transitional Economies*. Moscow, Slovo, 15 (in Russian).
12. Vidyapin V. I., Oleynikov E. A. (1997) *Fundamentals of Economic Security: State, Region, Personality*. Moscow, Business-School "Intel-Sintez", 29 (in Russian).
13. Prokhozhev A. A. (1990) *National Security: Foundations of the Theory, Subject Matter, Problems*. Moscow, Nauka, 9 (in Russian).
14. Senchagov V. K. (2002) *Economic Security: Geopolitics, Globalization, Self-Preservation and Development*. Moscow, Finstatinform, 38 (in Russian).
15. Zagashvili V. S. (1997) *Economic Security of Russia*. Moscow, Yurist, 61 (in Russian).
16. Glaziev S. Yu. (1999) *Economic Security*. Moscow, Mysl, 113 (in Russian).
17. Babosov E. M. (2010) *Philosophical Problems of Existence, Cognition, Faith and Culture*. Minsk: Republican Institute of Higher School, 18 (in Russian).
18. Sakovich V. A. (2014) *Globalistics in Brief*. Minsk, MITSO. 298 (in Russian).
19. Held D., McGrew A. (2007) *Globalization Theory: Approaches and Controversies*. Cambridge, Polity. 288.
20. Scholte J. A., Robertson R. (2006) *Encyclopedia of Globalization*. N.-Y.; London, Routledge.

Поступила 06.01.2016

Подписана в печать 07.03.2016

Опубликована онлайн 30.03.2016

REFERENCES

1. Sizov Yu. I. (2004) *Economic Security of the Region: Regionalization, Business Continuity, Strategy*. Moscow, Nauka. 310 (in Russian).
2. Skrydlov I. A. (2012) *Innovatsionnaia Sostavliaiushchaia Ekonomicheskoi Bezopasnosti Rossii* [Innovative Component of Economic Security of Russia]. St. Petersburg. 157 (in Russian).
3. Bulavko V. G., Nikitenko P. G., Solodovnikov S. Iu., Shakhotko L. P., Gusakov V. G., Ilina Z. M., Batova N. N., Enchik L. T., Kondratenko S. A., Kulakov G. T., Tsilibina V. M., Levkevich V. E., Piletskaia K. V., Ivanov F. F. (2009) *Economic Security: Theory, Methodology, Practice*. Minsk: Law and Economics, Pravo i Ekonomika, 397–399 (in Russian).
4. Burmistrov T. V. Problems of Innovation Security in Russian Economy. *For a Responsible Power*. Available at: http://www.igpr.ru/library/burmistrova_tv_problemy_innovatsionnoj_bezopasnosti_rossijskoj_ekonomiki (Accessed 30 September 2015) (in Russian).
5. On Approval of the National Security Concep. Decree of the President of the Republic of Belarus Dated 09.11.2010 No 575. *The Ministry of Defence of the Republic of Belarus. Military Information Portal*. Available at: [http://www.mil.](http://www.mil.by/ru/military_policy/koncep/)

Received: 06.01.2016

Accepted: 05.02.2016

Published online: 30.03.2016

УДК 338.001.36

Межстрановой анализ эффективности инновационной деятельности на основе метода оболочечного анализа данных среди государств с развитой и развивающейся экономикой, включая Республику Беларусь

Асп. И. В. Жуковский¹⁾, канд. экон. наук, доц. А. Б. Гедранович¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2016
Belarusian National Technical University, 2016

Реферат. В статье исследуется вопрос оценки эффективности инновационной деятельности 63 стран мира с развитой и развивающейся экономикой с помощью метода оболочечного анализа данных. Для расчета показателя эффективности использовались следующие результаты инновационной деятельности: экспорт высокотехнологичных товаров в процентах от экспорта производственных товаров, экспорт услуг информационно-коммуникационных технологий в процентах от экспорта услуг и платежи, получаемые от реализации прав интеллектуальной собственности (в долларах США). В качестве показателей ресурсов для расчета показателя эффективности выбраны параметры наукоемкости ВВП, количество ученых, занятых в сфере НИОКР (на один миллион населения), и затраты на приобретение прав интеллектуальной собственности (в долларах США). Для анализа использовалась модель оболочечного анализа данных с переменным эффектом от масштаба, направленная на максимизацию полученных данных. В ходе оценки оказалось, что такие страны, как США, Израиль, Швеция и ряд других, имеют максимальную эффективность преобразования ресурсов в результаты инновационной деятельности. Из проведенного анализа следует, что у Республики Беларусь есть потенциал улучшения показателей результатов инновационной деятельности.

Ключевые слова: инновации, эффективность инновационной деятельности, метод оболочечного анализа данных

Для цитирования: Жуковский, И. В. Межстрановой анализ эффективности инновационной деятельности на основе метода оболочечного анализа данных среди государств с развитой и развивающейся экономикой, включая Республику Беларусь / И. В. Жуковский, А. Б. Гедранович // *Наука и техника*. 2016. Т. 15, № 2. С. 154–163

Inter-Country Efficiency Evaluation in Innovation Activity on the Basis of Method for Data Envelopment Analysis among Countries with Developed and Developing Economy, Including the Republic of Belarus

I. V. Zhukovski¹⁾, A. B. Gedranovich¹⁾

¹⁾Belarusian State University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. The paper considers a problem on efficiency evaluation of innovation activity in 63 countries with developed and developing economies while using a method for data envelopment analysis. The following results of innovation activity have been used for calculation of an efficiency factor: export of high-technology products as percentage of industrial product export, export of ICT services as percentage of services export and payments obtained due to realization of intellectual property rights (in US dollars). A model of the data envelopment analysis with a changeable scale-dependent effect and which is directed on maximization of the obtained results (output-oriented VRS model) has been used for the analysis. The evaluation has shown that such countries as the USA, Israel, Sweden and some others have maximum efficiency of resource transformation into innovative activity output. The executed analysis has revealed that the Republic of Belarus has a potential for improvement of indices on innovation results.

Keywords: innovation, innovative activity efficiency, data envelopment analysis

For citation: Zhukovski I. V., Gedranovich A. B. (2016) Inter-Country Efficiency Evaluation in Innovation Activity on the Basis of Method for Data Envelopment Analysis among Countries with Developed and Developing Economy, Including the Republic of Belarus. *Science & Technique*. 15 (2), 154–163 (in Russian)

Адрес для переписки

Жуковский Игорь Владимирович
Белорусский государственный университет
ул. К. Маркса, 31,
220050, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 327-25-21
6786544@gmail.com

Address for correspondence

Zhukovski Igor V.
Belarusian State University
31 Karl Marx str.,
220050, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 327-25-21
6786544@gmail.com

Введение

Процессы глобализации и усиления конкуренции как на внутренних, так и внешних рынках вынуждают предприятия, государства и ученых искать новые конкурентные преимущества. Ключевая роль в повышении конкурентоспособности предприятия, региона и в целом национальной экономики отводится научно-исследовательской деятельности, а также умелой трансформации результатов НИОКР в новые продукты, процессы производства, маркетинговые или организационные методы управления предприятиями. То есть во все то, что можно назвать инновацией.

Мировой экономический кризис и его последствия оказали существенное влияние на инвестиции в научно-исследовательскую деятельность. Даже страны с развитой рыночной экономикой, такие как Канада, Израиль, Швеция и Великобритания, были вынуждены сократить свои расходы в данной сфере. Кризис также оказал отрицательное влияние на скорость коммерциализации уже имеющихся результатов исследовательской деятельности в связи с возросшей неопределенностью бизнеса. Безусловно, сокращение или упорядочение расходов на исследование и разработки во время кризиса не должны повлиять на итоговый результат исследований или инноваций [1].

Хорошим примером эффективного использования инвестиций в НИОКР является компания Apple, которая за период с 2006 по 2010 г. потратила на научно-исследовательские работы 4,6 млрд дол. США, а объем выручки за этот период увеличился с 25 до 43 млрд дол. Компания Microsoft за эти же четыре года затратила на НИОКР на 700 % больше – 31 млрд дол. Кроме того, она совершала множественные поглощения других компаний. Cisco и Intel затратили на НИОКР на 400 % больше, чем Apple, – 19 и 23 млрд дол. соответственно. В то же время объем выручки у компаний Microsoft, Cisco и Intel показывал незначительный рост. Важно отметить тот факт, что за это время компания Apple разработала и выпустила на рынок свои революционные продукты iPhone и iPad [2].

Особая роль инноваций, инновационной и научно-исследовательской деятельности в экономике Беларуси подчеркивается политиками,

предпринимателями и учеными. В связи с этим еще в 2007 г. была утверждена Государственная программа инновационного развития Республики Беларусь на 2007–2010 гг. На данный момент подходит к концу уже вторая программа инновационного развития Беларуси. В то время как ведущие экономики мира стремятся достигнуть уровня наукоемкости ВВП в 3 %, который, по данным Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), является оптимальным для функционирования научной системы, наукоемкость ВВП Республики Беларусь в 2014 г. составила 0,5 %.

Научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки и впоследствии инновации являются ключевым элементом, влияющим на рост ВВП страны. Поэтому неэффективное использование имеющихся ресурсов ведет к тому, что дополнительные инвестиции в научно-исследовательскую деятельность не оказывают должного влияния на рост ВВП страны [3].

В связи с изложенными выше фактами на первый план выходит именно эффективность использования имеющихся ресурсов.

Цель работы – межстрановой анализ эффективности инновационной деятельности на основе метода облучечного анализа данных (Data Envelopment Analysis – DEA). Задачи исследования:

- рассмотреть основные подходы к оценке эффективности инновационной деятельности;
- провести анализ эффективности инновационной деятельности с помощью метода DEA;
- на основе полученных данных оценить эффективность использования ресурсов в сфере инновационной деятельности.

Обзор литературы

Важность инноваций и технологических изменений вытекает из их способности повышать эффективность используемых ресурсов за счет увеличения спроса или снижения издержек. Большинство имеющихся на данный момент исследований рассматривают взаимосвязи между инновациями, НИОКР и экономическим ростом. В то же время только некоторые авторы пытаются оценить эффективность НИОКР и инновационной деятельности. На основе

имеющихся в литературе предметов исследований можно заключить, что научно-исследовательская деятельность ведет к улучшению производственных технологий и повышает производительность труда. Кроме того, повышает норму прибыли на уровне как предприятия, так и отрасли и экономики в целом. Солоу [4] рассматривает, как технологические изменения влияют на экономику страны. Положительное влияние инвестиций в научно-исследовательскую деятельность на производительность труда и норму прибыли подтверждается эмпирическими данными из различных отраслей экономики многих стран мира [5]. В других исследованиях подтверждается взаимосвязь между количеством выданных патентов, количеством научных сотрудников и объемом продаж новых продуктов [6].

Исследования по оценке эффективности научно-исследовательской и инновационной деятельности

Относительно небольшое количество авторов рассматривает проблему эффективности научно-исследовательской и инновационной деятельности. Например, Тэйтел в своей работе использует линейно-логарифмическую форму производственной функции и метод распознавания шаблонов для того, чтобы объяснить взаимосвязь между количеством выданных патентов (зависимая переменная) и общим количеством ученых и инженеров в стране, затратами на НИОКР, доходами на душу населения и количеством населения (независимые переменные). Данное исследование проводилось в 68 странах мира с 1976 по 1985 г. Автор делает вывод, что простая производственная функция не дает качественных результатов в силу мультиколлинеарности между независимыми переменными. В результате автор приходит к выводу, что рост затрат на НИОКР на 1 % ведет к 1%-му росту количества выдаваемых патентов [7].

В исследовании [8] авторы оценивали относительную эффективность научно-исследовательской деятельности 18 стран посредством метода DEA (использовалась модель с постоянным эффектом от масштаба). За результаты научно-исследовательской деятельности прини-

малось количество научных публикаций и выданных патентов. В качестве входных переменных использовались ВВП, количество занятого в экономике населения и затраты на НИОКР. В результате было выявлено, что из 18 стран наилучшие показатели эффективности имеют Швейцария и Великобритания.

Затем авторы расширили работу по оценке эффективности научно-исследовательской деятельности стран Западной Европы с развитой экономикой. В качестве входных параметров были использованы такие показатели, как количество экономически активного населения, ВВП и затраты на НИОКР. За результаты научно-исследовательской деятельности также принято количество научных публикаций и выданных патентов. После оценки эффективности стран Западной Европы в анализ были включены такие государства, как США, Канада, Австралия и Япония. Также авторы упоминают тот факт, что в научно-исследовательской деятельности есть существенный временной лаг между началом инвестиций и получением результата. В ходе исследования выявлено, что Швейцария имеет наилучший показатель эффективности преобразования ресурсов в результаты научно-исследовательской деятельности [9].

Среди последних исследований в данной сфере следует обратить внимание на работу Шарма и Томаса, в которой авторы оценивают относительную эффективность результатов научно-исследовательской деятельности 22 стран мира с развитой и переходными экономиками. Исследования проводились с помощью метода DEA. Авторы брали следующие входные переменные: затраты на НИОКР и количество ученых, в качестве результата использовалась переменная количества выданных патентов. Авторы применяли как модели с постоянным, так и с переменным эффектом от масштаба. В первом случае Япония, Южная Корея и Китай наилучшим образом использовали имеющиеся ресурсы, а при применении модели с переменным эффектом от масштаба наиболее эффективными были те же Япония, Южная Корея, Китай плюс Индия, Словения и Венгрия [10].

В исследовании [11] авторы оценивают относительную эффективность научно-исследовательской деятельности 30 стран мира. Для ана-

лиза использовался метод DEA. Как входные переменные были взяты затраты на научные исследования и разработки и экономически активное население, а в качестве результатов НИОКР использовались такие переменные, как количество публикаций и количество выданных патентов. Основной вывод, который делают авторы, заключается в том, что менее одной трети всех стран работают с ресурсами максимально эффективно, а остальные государства могут значительно повысить эффективность от используемых ресурсов.

Основная цель рассмотренных выше научных работ – оценка эффективности научно-исследовательской деятельности. В то же время судить об эффективности стран в инновационной деятельности по данным материалам достаточно сложно. Поэтому обратимся к некоторым примерам оценки эффективности инновационной деятельности.

В своей работе «Измерение инновационной активности» Олланедрс и Эссер используют метод DEA для оценки эффективности инновационной деятельности 27 стран Европейского союза. Авторы применяли показатели, которые берутся для составления ежегодного Индекса инновационного развития (European Innovation Scoreboard – EIS). В EIS входят 25 показателей инновационной активности. Они разделены на две основные группы: входные параметры и результаты инновационной деятельности. В свою очередь, входные параметры включают в себя три основные группы – инновационные драйверы, создание знаний, передачу и применение знаний. Кроме того, каждая группа включает еще пять индивидуальных показателей, две группы результатов инновационной деятельности (использование инноваций и интеллектуальная собственность), а также пять основных показателей. В результате проведения анализа с помощью метода DEA все страны были объединены в четыре группы в соответствии с эффективностью использования имеющихся ресурсов. Швеция, Дания, Германия, Финляндия, Великобритания и Швейцария – инновационные лидеры. Также были проведены исследования влияния временного лага на показатель эффективности. В результате авторы делают заключение, что временной лаг в 3–4 года не оказывает существенного влияния на по-

казатель эффективности использования ресурсов [12].

Следует обратить внимание на глобальный индекс инновационного развития (Global Innovation Index – GII), в который Республика Беларусь впервые была включена в 2012 г. и заняла 78-е место среди 141 страны (в 2015 г. – 53-е место среди 141 страны) [1]. Для построения интегрированного индекса все факторы разделяются на две группы: inputs – факторы, способствующие инновациям (ресурсы), и outputs – факторы, которые можно классифицировать как результаты инновационной деятельности. В факторы ресурсов входят институциональные характеристики, человеческий капитал, общая и информационная инфраструктура, совершенство рынка и совершенство деловых кругов. К результатам инновационной деятельности относят знания, конкурентоспособность и благосостояние. Данный метод учитывает более 100 показателей, что является его неоспоримым преимуществом. В то же время отсутствуют показатели, которые непосредственно отражали результаты инновационной деятельности, например объем инновационной продукции и экспорт новых технологий. В связи с этим можно заключить, что такой индекс оценивает не столько инновации и их результат, сколько инновационный потенциал страны [13].

Можно заключить, что на данный момент имеется широкий спектр исследований эффективности научно-исследовательской деятельности с помощью различных методов, в различные промежутки времени и для разных стран. Если говорить об оценке эффективности инновационной деятельности, то здесь наблюдается определенный пробел, хотя и были сделаны попытки оценки данного показателя. Хотелось бы отметить, что объектами исследований в большинстве работ были страны с развитой рыночной экономикой. Более того, Республика Беларусь попала только в один рейтинг – Глобальный индекс инновационного развития, который, как было выяснено выше, скорее оценивает потенциал инновационной системы, чем эффективность использования имеющихся ресурсов в данной сфере. Таким образом, критически важным является момент оценки эффективности инновацион-

ной деятельности Республики Беларусь в контексте межстранового сравнения.

Метод оболочечного анализа данных

Метод DEA – относительно новая методика, основанная на принципах линейного программирования, предназначенная для измерения технической эффективности производственных единиц (DMU – Decision Making Unit). В данном случае техническую эффективность производственной единицы можно сформулировать как взвешенное соотношение произведенных товаров и услуг (output) к использованным ресурсам (input). Исходя из этого возникает вопрос: как можно сравнить между собой различные производственные объекты (DMU) относительно их эффективности? Метод DEA дает возможность одновременно учитывать множественные входы и выходы, измеряя эффективность DMU как взвешенную сумму выходов по отношению к взвешенной сумме входов. Ограничением является условие, что эффективность исследуемого объекта не может превышать единицу [14].

Фаррел [15] в своей работе сформулировал основные принципы метода DEA и применил их для оценки эффективности сельского хозяйства США в сравнении с другими странами. Для этого он попытался измерить эффективность одной единицы конечной продукции на примере с одним входным фактором (input) и одним выходным параметром (output). Однако автору не удалось найти способ, как объединить различные входные и выходные параметры. В дальнейшем Чарнсом, Купером и Родесом [16] эта идея была переформулирована в проблему математического программирования. Сейчас существуют две наиболее популярные модели метода DEA – модель при постоянном эффекте от масштаба (Constant Return to Scale – CRS), разработанная Чарнсом, Купером и Родесом [16], и модель с переменным эффектом от масштаба (Variable Returns to Scale – VRS), которая разработана Банкером, Чарнсом и Купером [17]. При этом обе модели могут быть ориентированы на оценку как эффективности результатов деятельности (output-oriented), так и эффективности использования ресурсов (input-oriented):

- оценка эффективности, ориентированной на выпуск (output-oriented), происходит при максимизации значения выходных переменных. Например, для инновационных предприятий это могут быть показатели доходности, рентабельности инновационных проектов, объем отгруженной инновационной продукции и т. д.;

- при оценке эффективности, ориентированной на использование ресурсов или факторов производства (input-oriented), речь идет о минимизации значений переменных, характеризующих имеющиеся ресурсы и уровень издержек. В инновационном производстве – это количество исследователей и научных работников, процентные и непроцентные расходы, операционные расходы на обслуживание помещений, содержание персонала и т. п.

Остановимся подробнее на модели с переменным эффектом от масштаба (VRS), так как именно она будет использована в последующем анализе. В случае модели с постоянным эффектом масштаба выходной параметр изменяется пропорционально к входному фактору. При использовании модели с переменным эффектом от масштаба изменение входного фактора может привести к непропорциональному изменению выходного параметра, что в результате повлияет на значение эффективности. Если принимается переменная отдача масштаба, то большее количество предприятий может быть обозначено как эффективные.

Математическое представление переменного эффекта масштаба выглядит следующим образом:

$$e_0 = \frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{j0} + u_0}{\sum_{i=1}^r v_i x_{i0}} \rightarrow \max!,$$

где e_0 – значение эффективности исследуемого объекта; n – число единиц, которые сравниваются; r – то же входных факторов; s – то же выходных параметров; x_{i0} – выражение i -го входного фактора исследуемого объекта; y_{j0} – то же j -го выходного параметра исследуемого объекта; v_i – взвешивание входного фактора i с $i = 1, \dots, r$; u_j – то же выходного параметра j с $j = 1, \dots, s$.

При условии

$$\frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{jm} + u_0}{\sum_{i=1}^r v_i x_{im}} \leq 1 \text{ получим, что } u_j, v_i \geq 0.$$

Здесь u_0 – эффект масштаба; x_{im} – выражение i -го входного фактора m -го объекта с $i = 1, \dots, r$ и $m = 1, \dots, n$; y_{jm} – то же выходного параметра m -го объекта с $i = 1, \dots, r$ и $m = 1, \dots, n$.

Если $u_0 < 0 \rightarrow$ убывающая отдача масштаба; если $u_0 > 0 \rightarrow$ возрастающая отдача масштаба; если $u_0 = 0 \rightarrow$ постоянная отдача масштаба.

С помощью VRS-моделей можно не только распознать возрастающий или снижающийся эффект масштаба для отдельных предприятий, но и произвести дифференциацию между технической эффективностью и эффективностью в зависимости от эффекта масштаба.

По результатам оболочечного анализа можно определить:

- эффективный фронт – это выпуклая оболочка, состоящая из наиболее эффективных производственных единиц (DMU);
- меру эффективности – расстояние от эффективного фронта до точки на плоскости; в случае, если точка расположена на выпуклой оболочке, эффективность равна единице;
- эффективную цель для организации – проекция точки на эффективный фронт.

Преимуществами оболочечного анализа данных DEA в сравнении с другими методами оценки эффективности функционирования производственных единиц являются:

- относительная простота применения, а также получение легко интерпретируемой визуализации данных;
- определение направления для улучшения эффективности работы производственной единицы;
- возможность одновременно учитывать множественные входные показатели и результаты деятельности;
- результаты, которые получаются при анализе, представляют собой агрегированную оценку уровня эффективности для каждой производственной единицы.

Однако метод имеет и ряд недостатков:

- «не распознает» случайные колебания, и все отклонения от максимума свидетельствуют о наличии неэффективности;

- для применения метода данные должны быть однородными и стандартизированными [18].

Описание эксперимента

Для исследования эффективности инновационной деятельности в данном исследовании используется выборка из 63 стран, включая Республику Беларусь. Количественные данные о входных параметрах и результатах инновационной деятельности для этих стран взяты с официального сайта Всемирного банка за 2011 г.

В научной литературе представлены различные варианты входных ресурсов, которые используются для анализа эффективности инновационной деятельности. Наиболее популярными среди данного множества показателей являются наукоемкость ВВП [12], количество ученых на один миллион населения [10, 11], а также затраты на использование прав на интеллектуальную собственность. Учитываются выходные параметры: высокотехнологичный экспорт, экспорт информационно-коммуникационных технологий и платежи, получаемые от реализации прав интеллектуальной собственности.

Таким образом, для анализа использовались следующие ресурсы:

- наукоемкость ВВП;
- количество научных работников, занятых в научно-исследовательской деятельности (на один миллион населения);
- затраты на роялти и лицензионные платежи, в дол. США.

В качестве результатов инновационной деятельности брались показатели:

- высокотехнологичный экспорт, в % от промышленного экспорта;
- экспорт информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), в % от экспорта услуг;
- платежи, получаемые от реализации прав интеллектуальной собственности, в дол. США.

Инновационная и научно-исследовательская деятельность характеризуется определенными временными лагами, так как рост инвестиций не ведет к немедленному росту результатов [19]. С другой стороны, эмпирические исследования Олланедрса и Эссера [12] показывают, что временной лаг не оказывает существенного влия-

ния на показатели эффективности преобразования ресурсов в результаты инновационной деятельности. Также основные индексы, такие как EIS, GPI, не учитывают временной лаг.

Для анализа использовалась модель с переменным эффектом от масштаба, ориентированная на максимизацию результатов инновационной деятельности. Для оценки значимости переменных в модели DEA был проведен тест Пастора [20], который показал, что все входные переменные являются значимыми и не могут быть исключены из модели.

Результаты анализа

Результаты исследования приведены в табл. 1. Эффективный фронт, полученный на основе проведенного эксперимента, представлен на рис. 1. Можно отметить, что среди государств, которые имеют максимальный показатель эффективности, есть страны как с развитой, так и с развивающейся экономикой. Наивысшая эффективность преобразования ресурсов в результаты инновационной деятельности характеризуется величиной показателя эффективности, равной единице.

Таблица 1

Индивидуальные показатели эффективности инновационной деятельности 63 стран мира

Individual efficiency indices on innovative activity in 63 countries

№ п/п	Страна	Показатель эффективности	№ п/п	Страна	Показатель эффективности
1	Коста-Рика	1	33	Япония	1,5417
2	Кипр	1	34	Уругвай	1,6089
3	Египет	1	35	Венгрия	1,6134
4	Гватемала	1	36	Южная Корея	1,7016
5	Индия	1	37	Республика Чехия	1,7217
6	Ирландия	1	38	Эстония	1,7981
7	Израиль	1	39	Норвегия	1,8068
8	Казахстан	1	40	Колумбия	1,8747
9	Киргизия	1	41	Словакия	1,8827
10	Мадагаскар	1	42	Италия	1,8872
11	Мальта	1	43	Азербайджан	1,9063
12	Молдова	1	44	Россия	1,9590
13	Пакистан	1	45	Польша	1,9661
14	Швеция	1	46	Испания	2,0028
15	США	1	47	Австрия	2,0199
16	Сингапур	1,0004	48	Исландия	2,1036
17	Малайзия	1,0387	49	Латвия	2,2076
18	Мексика	1,0617	50	Болгария	2,2989
19	Румыния	1,1029	51	Словения	2,3605
20	Бразилия	1,1372	52	Португалия	2,5185
21	Сербия	1,1468	53	Беларусь	2,7054
22	Аргентина	1,1732	54	Дания	2,7064
23	Финляндия	1,2039	55	Австралия	2,8187
24	Китай	1,2362	56	Литва	2,8373
25	Нидерланды	1,3353	57	Украина	2,8498
26	Франция	1,3387	58	Люксембург	3,0055
27	Канада	1,3709	59	Новая Зеландия	3,3761
28	Турция	1,3969	60	Хорватия	3,9742
29	Германия	1,3997	61	Черногория	5,0386
30	Великобритания	1,4097	62	Греция	5,0773
31	Бельгия	1,5079	63	Грузия	6,8891
32	Швейцария	1,5386			

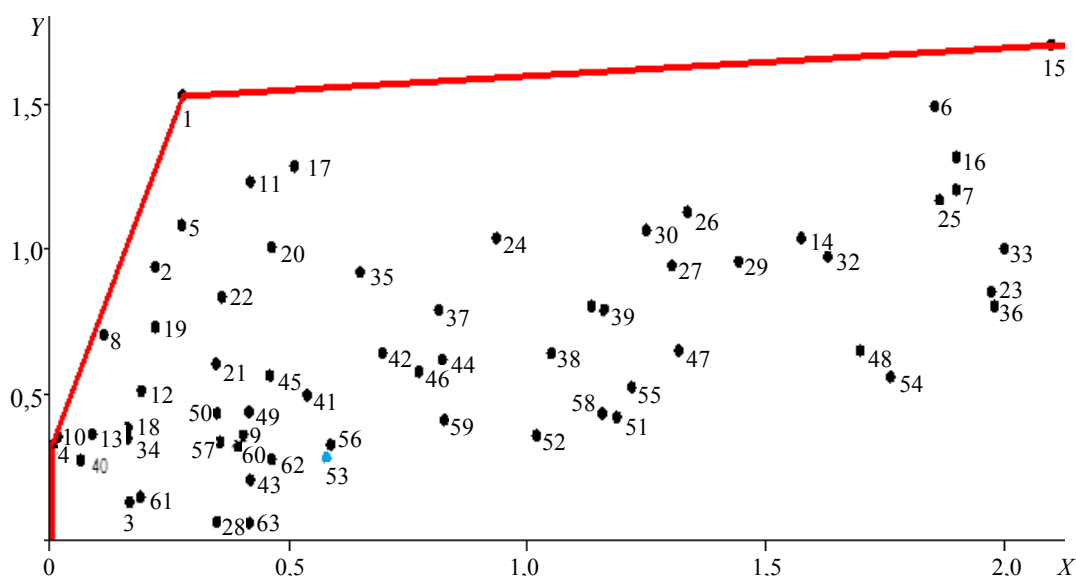


Рис. 1. График эффективного фронта (собственная разработка): X – взвешенные входные показатели; Y – взвешенные результаты инновационной деятельности

Fig. 1. Diagram of efficient front: X – weighted input indices; Y – weighted results of innovative activity

Эффективный фронт представлен на графике кривой, на которой расположены точки 1 и 15 (Коста-Рика и США соответственно). Эффективный фронт состоит из стран, которые наиболее эффективно используют имеющиеся ресурсы.

На основе полученных результатов можно заключить, что преобразования ресурсов в результаты инновационной деятельности в Беларуси находятся на низком уровне. Это означает, что увеличение затрат на научно-исследовательскую деятельность в краткосрочном периоде не принесет должного результата без улучшения эффективности использования имеющихся ресурсов.

Следует обратить внимание как на государства с наилучшими показателями эффективности, среди которых США, Швеция, Израиль (с наиболее сильным научным и инновационным потенциалом в мире), так и страны, о которых сложно сказать, что они являются лидерами в области создания новых знаний и технологий, а также производства инновационной продукции (Гватемала, Мадагаскар, Молдова и др.). Более того, наукоемкость ВВП и затраты на образование в этих странах зачастую значительно ниже, чем в Республике Беларусь. Однако эффективное использование

ресурсов позволяет таким странам максимизировать результаты от инновационной деятельности.

ВЫВОДЫ

1. В ходе исследования на основе метода оболочечного анализа данных проведена оценка эффективности инновационной деятельности 63 стран с развитыми и развивающимися экономиками, включая Республику Беларусь. Отличительной чертой данной работы является включение в список анализируемых стран Республики Беларусь. Другое отличие заключается в том, что работа оценивает эффективность результатов инновационной, а не научно-технической деятельности.

2. Основываясь на полученных результатах, можно заключить, что есть страны – лидеры по эффективности трансформации ресурсов в результаты инновационной деятельности, такие как США, Сингапур, Швеция и др. В то же время если говорить о Республике Беларусь, то можно сделать вывод, что имеющиеся ресурсы используются недостаточно эффективно и увеличение затрат в этой сфере не принесет желаемого результата на данном этапе.

3. В дальнейших исследованиях для более полного и подробного анализа планируется

провести межстрановой анализ эффективности научно-исследовательской деятельности, а также анализ эффективности инновационной деятельности организаций по видам экономической деятельности в Республике Беларусь. Таким образом, данные исследования помогут найти уязвимые места в инновационной политике государства и наметить точки роста на будущую пятилетку.

ЛИТЕРАТУРА

1. The Global Innovation Index 2015: Effective Innovation Policies for Development / S. Dutta [et al.]; edited by S. Dutta. Fontainebleau, Ithaca, and Geneva: Cornell University, INSEAD, and WIPO: 2012. 419 p.
2. Cheney, S. Apple's Incredible Efficient Growth / S. Cheney // Business Insider [Electronic resource]. 2010. Mode of access: <http://www.businessinsider.com/apple-and-efficiently-growing-its-future-2010-5>. Date of access: 06.12.2015.
3. О состоянии и перспективах развития науки в Республике Беларусь по итогам 2011 г. / И. В. Войтов [и др.]; под общ. ред. И. В. Войтова, А. М. Русецкого. Минск: ГУ «БелИСА», 2012. 224 с.
4. Solow, R. M. Technical Change and the Aggregate Production Function / R. M. Solow // *The Review of Economics and Statistics*. 1957. Vol. 30 (3). P. 312–320.
5. Griliches, Z. Productivity, R&D, and Basic Research at the Firm Level in the 1970s. / Z. Griliches // *American Economic Review*. 1986. Vol. 76 (1). P. 141–154.
6. Comanor, W. S. Patent Statistics as a Measure of Technical Change / W. S. Comanor, F. M. Scherer // *The Journal of Political Economy*. 1969. Vol. 77 (3). P. 392–398.
7. Teitel, S. Patents, R&D Comparison / S. Teitel // *Scientometrics*. 1994. Vol. 29 (1). P. 137–159.
8. Rousseau, S. Data Envelopment Analysis as a Tool for Constructing Scientometric Indicators / S. Rousseau, R. Rousseau // *Scientometrics*. 1997. Vol. 40 (1). P. 45–56.
9. Rousseau, S. The Scientific Wealth of European Nations: Taking Effectiveness into Account / S. Rousseau, R. Rousseau // *Scientometrics*. 1998. Vol. 42 (1). P. 75–87.
10. Sharma, S. Inter-Country R&D Efficiency Analysis: an Application of Data Envelopment Analysis / S. Sharma, V. Thomas // *Scientometrics*. 2008. Vol. 76 (3). P. 483–501.
11. Wang, E. C. Relative Efficiency of R&D Activities: a Cross-Country Study Accounting for Environmental Factors in the DEA Approach / E. C. Wang, W. Huang // *Research Policy*. 2007. Vol. 36 (2). P. 260–273.
12. Hollanders, H. Measuring Innovation Efficiency / H. Hollanders, F. Celikel-Esser // *INNO Metrics*. 2007. Режим доступа: http://www.pedz.uni-mannheim.de/daten/edzh/gdb/07/eis_2007_Innovation_efficiency.pdf. Дата доступа: 06.12.2015.
13. Попова, М. В. Международный опыт построения индексов инновационного развития [Электронный ресурс] / М. В. Попова // *Современные научные исследования и инновации*. 2013. № 3. Режим доступа: <http://web.snauka.ru/issues/2013/03/23033>. Дата доступа: 07.10.2015.

14. Лисситса, А. Анализ оболочки данных (DEA) – современная методика определения эффективности производства [Электронный ресурс] / А. Лисситса, Т. Бабищева // *Discussion Paper of Institute of Agricultural Development in Central and Eastern Europe*. 2003. № 50. Режим доступа: <http://hdl.handle.net/10419/28581>. Дата доступа: 06.12.2015.
15. Farrell, M. J. The Measurement of Productive Efficiency / M. J. Farrell // *J. of Royal Statistical Society. Series A (General)*. 1957. Vol. 120 (3). P. 253–290.
16. Charnes A., Charnes, W. W. Cooper, E. Rhodes // *European Journal of Operational Research*. 1978. No 2. P. 429–444.
17. Banker, R. D. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis / R. D. Banker, A. Charnes, W. W. Cooper // *Management Science*. 1984. Vol. 30 (9). P. 1078–1092.
18. Корчагин, О. Оценка эффективности региональных подразделений многопрофильного банка / О. Корчагин, А. Жуков // *Банковский вестник*. 2010. № 19 (492). С. 29–34.
19. Griliches, Z. Issues in Assessing the Contribution of Research and Development to Productivity Growth / Z. Griliches // *The Bell Journal of Economics*. 1979. Vol. 10 (1). P. 92–116.
20. Pastor, J. T. A Statistical Test for Nested Radial DEA-Models / J. T. Pastor, J. L. Ruiz, I. A. Sirvent // *Operations Research*. 2002. Vol. 50 (4). P. 728–735.

Поступила 11.01.2016

Подписана в печать 12.03.2016

Опубликована онлайн 30.03.2016

REFERENCES

1. The Global Innovation Index 2015. Effective Innovation Policies for Development. Fontainebleau; Ithaca; Geneva: Cornell University; INSEAD; WIPO, 2012. 419.
2. Cheney, S. (2010) Apple's Incredible Efficient Growth. Business Insider. Available at: <http://www.businessinsider.com/apple-and-efficiently-growing-its-future-2010-5>. (Accessed 6 December 2015).
3. Voitov I. V., Topoltsev A. L., Artiukhin M. I., Kostiukovich N. N., Rudenkov V. M., Rusetskii A. M., Khartornik I. A., Chechko A. P. (2012) *About the State and Prospects of Science Development in the Republic of Belarus on 2011-Year Basis: Analytical Report*. Minsk, BelISA. 224 (in Russian).
4. Solow R. M. (1957) Technical Change and the Aggregate Production Function. *The Review of Economics and Statistics*, 30 (3), 312–320.
5. Griliches Z. (1986) Productivity, R&D, and Basic Research at the Firm Level in the 1970s. *American Economic Review*. 76 (1), 141–154.
6. Comanor W. S., Scherer F. M. (1969) Patent Statistics as a Measure of Technical Change. *The Journal of Political Economy*, 77 (3), 392–398.

7. Teitel S. (1994) Patents, R&D Comparison. *Scientometrics*, 29 (1), 137–159. DOI: 10.1007/BF02018387.
8. Rousseau S., Rousseau R. (1997) Data Envelopment Analysis as a Tool for Constructing Scientometric Indicators. *Scientometrics*, 40 (1), 45–56.
9. Rousseau S., Rousseau R. (1998) The Scientific Wealth of European Nations: Taking Effectiveness into Account. *Scientometrics*, 42 (1), 75–87.
10. Sharma S., Thomas V. (2008) Inter-Country R&D Efficiency Analysis: an Application of Data Envelopment Analysis. *Scientometrics*, 76 (3), 483–501. DOI: 10.1007/s11192-007-1896-4.
11. Wang E. C., Huang W. (2007) Relative Efficiency of R&D Activities: a Cross-Country Study Accounting for Environmental Factors in the DEA Approach. *Research Policy*, 36 (2), 260–273. DOI: 10.1016/j.respol.2006.11.004.
12. Hollanders H., Celikel-Esser F. (2007) Measuring Innovation Efficiency. *INNO Metrics*. Available at: http://www.pedz.uni-mannheim.de/daten/edz-h/gdb/07/eis_2007_Innovation_efficiency.pdf/. (Accessed 6 December 2015).
13. Popova M. V. (2013) International Experience for Construction of Innovative Development Indices. *Modern Scientific Researches and Innovations*, (3). Available at: <http://web.snauka.ru/issues/2013/03/23033> (Accessed: 7 October 2015) (in Russian).
14. Lissitsa A., Babicheva T. (2003) Data Envelopment Analysis (DEA) is a Modern Methodology for Determining Efficiency of Production. *Discussion Paper of Institute of Agricultural Development in Central and Eastern Europe*, (50). Available at: <http://hdl.handle.net/10419/28581> (Accessed 6 December 2015) (in Russian).
15. Farrell M. J. (1957) The Measurement of Productive Efficiency. *J. of Royal Statistical Society. Series A (General)*, 120 (3), 253–290.
16. Charnes A., Cooper W. W., Rhodes E. (1978) Measuring of Efficiency of Decision Making Units. *European Journal of Operational Research*, (2), 429–444. DOI: 10.1016/0377-2217(78)90138-8.
17. Banker R. D., Charnes A., Cooper W. W. (1984) Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, 30 (9), 1078–1092.
18. Korchagin O., Zhukov A. (2010) Efficiency Evaluation of Regional Branches of a Diversified Bank. *Bankovskiy Vestnik* [Bank Bulletin], 19 (492), 29–34 (in Russian).
19. Griliches Z. (1979) Issues in Assessing the Contribution of Research and Development to Productivity Growth. *The Bell Journal of Economics*, 10 (1), 92–116.
20. Pastor J. T., Ruiz J. L., Sirvent I. A. (2002) A Statistical Test for Nested Radial DEA Models. *Operations Research*, 50 (4), 728–735.

Received: 11.01.2016

Accepted: 12.03.2016

Published online: 30.03.2016

УДК 330.834

Влияние фактора неопределенности на развитие экономического кризиса в России

Канд. экон. наук В. А. Рудяков¹⁾

¹⁾Байкальский государственный университет (Иркутск, Российская Федерация)

© Белорусский национальный технический университет, 2016
Belarusian National Technical University, 2016

Реферат. Наблюдая разворачивание кризиса в российской экономике, представляется, что одна из причин падения уровня экономического развития – возрастающая степень неопределенности. Эта ситуация негативным образом влияет на инвестиционные процессы и мультиплицируется во все возрастающем недополучении национального дохода. Высокая неопределенность блокирует вложения в капиталоемкие и специфичные активы, вынуждая субъектов переводить ресурсы в финансовый сектор, зачастую за пределы экономики. Косвенным подтверждением такой ситуации является 49 % износа промышленных фондов. В сфере добычи полезных ископаемых степень износа российских основных фондов 53,2 %, в том числе полностью изношенных – 22,9 %. При коэффициенте обновления в отрасли чуть более 6, а коэффициенте выбытия 0,9 ситуация выглядит катастрофической. Причин такого положения (особенно в экономической сфере), конечно, много. Одной из них является то, что в рамках господствующей в экономической науке неоллиберальной идеологии с ее упором на автоматическое стихийное приспособление фактически нет места разработкам рекомендаций по сознательному повышению эффективности адаптации к неопределенности. Ведь если считать, что рынок ведет всю систему к наиболее оптимальному состоянию равновесия, потребности в таких разработках просто не возникает. Основная цель представленной работы – показать, насколько фактор неопределенности усугубляет кризисные тенденции в российской экономике. Используя кейнсианский метод анализа и разделяя всю массу сбережений на инвестиционные и тесаврируемые, автор привел доказательства, что в России сформировался очень низкий уровень адаптивной эффективности, отражающей долгосрочную способность экономики успешно приспосабливаться к изменяющимся внутренним и внешним условиям без ущерба для реализации намеченных целей и задач. Именно это и делает текущий кризис настолько тяжелым. Подробно рассматривается применимость различных методов государственного регулирования при высоком уровне неопределенности.

Ключевые слова: кейнсианство, инвестиции, сбережения, экономический кризис, тесаврация, мальтузианская ловушка, адаптивная эффективность, институционализм

Для цитирования: Рудяков, В. А. Влияние фактора неопределенности на развитие экономического кризиса в России / В. А. Рудяков // *Наука и техника*. 2016. Т. 15, № 2. С. 164–170

Influence of Uncertainty Factor on Development of Economic Crisis in Russia

V. A. Rudyakov¹⁾

¹⁾Baikal State University (Irkutsk, Russian Federation)

Abstract. Observing development of the crisis in the Russian economy, it appears that one of the reasons for the decline in the economic development is an increasing degree of uncertainty. The situation affects investment processes and multiplies itself in a growing deficiency of national income. High uncertainty blocks investments in capital-intensive and specific assets and makes economic entities transfer their resources into financial sector and, most often, outside the economy. 49 % of fixed industrial assets depreciation is an indirect proof of this situation. Depreciation of the Russian fixed assets in mining operations is 53.2 %, which includes 22.9 % of fully depreciated assets. At present, when the coefficient of renewal in this branch of

Адрес для переписки

Рудяков Василий Анатольевич
Байкальский государственный университет
ул. Ленина, д. 11/2,
664003, г. Иркутск, Российская Федерация
Тел.: +7 395 225-55-50
fmined@mail.ru

Address for correspondence

Rudyakov Vasily A.
Baikal State University
11/2 Lenin str.,
664003, Irkutsk, Russian Federation
Tel.: +7 395 225-55-50
fmined@mail.ru

industry is a little more than 6 and the coefficient of retirement is 0.9, the situation seems to be disastrous. There are a lot of reasons for such situation, especially in the economic sphere. One of them is that within the neoliberal ideology dominating in the economic science with its emphasis on the automatic spontaneous adaptation there is actually no place for development of recommendations for a willful increase in efficiency of adaptation to uncertainty. After all, if we consider that the market leads the entire system to the most optimum equilibrium state, a need for such development simply does not arise. The main objective of this work is to show how the uncertainty factor increases recessionary trends in the Russian economy. Applying Keynesian analysis technique and dividing all savings into investment and hoarding ones, the author proves that Russia has a very low level of adaptive efficiency which reflects long-term ability of the economy to adjust successfully to changing internal and external conditions without any detriment to the implementation of the intended targets and tasks. It is a low level of adaptive efficiency that makes the current crisis so severe. The application of different methods for government regulation when there is a high level of uncertainty has been studied in details.

Keywords: keynesianism, investments, savings, economic crisis, hoarding, malthusian trap, adaptive efficiency, institutional theory

Forcitation: Rudyakov V. A. (2016) Influence of Uncertainty Factor on Development of Economic Crisis in Russia. *Science & Technique*. 15 (2), 164–170 (in Russian)

Введение

Многие современные макроэкономические рекомендации строятся на базовой неоклассической предпосылке тождества инвестиций и сбережений. В то же время наблюдение реальных экономических процессов, например в экономике России, показывает, что такое равенство далеко не является правилом. Особо остро проблема стоит в российской экономике ввиду тотального острого дефицита инвестиций в реальный сектор при наличии весьма значительных сбережений в стране. Так, можно отметить, что в 2014 г. валовое сбережение составило 16,3 трлн руб. (22,9 % от ВВП), а валовые накопления 14,7 трлн руб. (20,6 % от ВВП) [1]. Разрыв в 2,3 % от ВВП между сбережениями и инвестициями вполне сопоставим с такими государственными расходами в 2013 г. как, например, «Национальная оборона» (2,72 %), «Здравоохранение» (2,45 %) или «Социальная политика» (1,92 %). Если использовать модель инвестиционного мультипликатора, рассчитанного посредством однофакторной линейной регрессии [2], то полные потери составляют (при мультипликаторе 1,72) 2,75 трлн руб. недополученного дохода за 2014 г.

Основная гипотеза, которой придерживаются, носит кейнсианский характер и состоит в том, что хотя общие сбережения частного сектора находятся в прямой зависимости от полученного дохода, однако частные субъекты, действующие в денежной экономике, направляют свои сбережения на инвестиции не в полном объеме и зачастую по «остаточному принципу». Определенная часть сбережений тесаврируется из соображения «предпочтения ликвид-

ности», и доля таких сбережений функционально зависит от колебаний уровня неопределенности в экономике.

Формирование процессов капиталообразования в России с позиций кейнсианства

Целесообразным представляется разделить весь объем сбережений на две части, которые условно назовем:

- инвестиционные сбережения – часть прошлого дохода, непотраченного на потребление, которая может стать инвестициями при соблюдении ряда условий (в первую очередь удовлетворенности ставкой процента);
- тезаврируемые сбережения – часть полученного дохода, непотраченного на потребление, сознательно выводимая субъектами из инвестиционного процесса в целях «предпочтения ликвидности» в условиях неопределенности.

На основе предложенного деления сбережений и опираясь на показатели системы национальных счетов (СНС) [1] и платежного баланса [3], предлагается схема сбалансированного национального капиталообразования, представленная в табл. 1.

В соответствии с рассматриваемым подходом в представленной системе обеспечение ликвидности и суррогатных накоплений происходит за счет тезаврации части национальных сбережений. И суррогатные средства накопления, и деньги, сберегаемые из мотива предосторожности, конечно же, не являются макроэкономическими инвестициями в строгом смысле этого слова, так как не создают в национальной экономике ни производственной ак-

тивности, ни дополнительного дохода, ни занятости. Основная задача таких инвестиций – обеспечивать процессы тezаврации, неизбежные в открытой экономике с ненулевым (положительным) уровнем неопределенности.

Таблица 1

**Схема национального капиталoобразования
в открытой денежной экономике**

**Scheme of national capital formation
in open money economy**

Ресурс	Использование
1. Валовое внутреннее сбережение, в том числе частное государственное	<i>Валовое накопление по мотивам дохода</i>
2. Чистые скрытые внешние сбережения частного сектора	1. Валовые инвестиции за счет сбережений, в том числе валовое накопление основного капитала изменение запасов чистое приобретение непроизводственных нефинансовых активов 2. Накопление доходных финансовых активов <i>Валовое накопление по мотивам предосторожности</i>
	1. Внутреннее суррогатное накопление 2. Внешнее суррогатное накопление 3. Накопление ликвидности
<i>Всего валовое национальное сбережение</i>	<i>Всего валовое национальное накопление</i>

Для объективной оценки процессов тezаврации дальнейшему анализу подвергли только частные сбережения. Создание государственных фондов с вынесением средств за рубеж, несомненно, также может быть отнесено к тezаврации сбережений. Однако такую тezаврацию по зрелому размышлению, очевидно, сложно назвать функционально зависимой от текущего уровня неопределенности, поскольку мотивы государственного сбережения имеют существенные отличия от частных, а сама величина текущих госсбережений и их тezаврация зависят больше от государственной политики, дефицита, профицита, валютных курсов и т. д. Помимо традиционных валовых,

в частные тezаврируемые сбережения также включали некоторые из элементов «чистого вывоза капитала». Речь идет в первую очередь о статье платежного баланса «Сомнительные операции», включаемой ЦБ РФ в чистый вывоз капитала нефинансовыми секторами. Эти операции можно отнести к частным, внешним, суррогатным, скрытым (внелегальным), преднамеренным, тezаврируемым сбережениям. Включение «сомнительных операций» обусловлено также тем, что в СНС эти суммы идут не по графе «Сбережение», а учитываются по другим строкам.

В банковском секторе также очевидно формируются тezаврируемые сбережения. Здесь имеются в виду внешние чистые депозиты, которые выводятся посредством банков из национальной финансовой системы как раз из мотивов предосторожности. К внутреннему суррогатному накоплению отнесли и показатель СНС «Чистое приобретение ценностей», под которым понимаются предметы, обладающие способностью сохранять стоимость в течение длительного периода (драгоценные металлы и камни, ювелирные изделия, антиквариат и т. п.).

Немаловажно и то, что сбережение наличных денег из мотива предосторожности в России традиционно ведется как в рублях, так и в иностранной валюте (по причине высоких временных издержек хранения наличных рублей – в виде инфляции, девальвации и т. д.). Таким образом, в накопление ликвидности включали как сбережения, сохраняемые физическими лицами в наличных рублях, так и объем сбережения наличной валюты населением [3]. Чтобы оценить связь этих сбережений с неопределенностью, воспользуемся результатами выборочных обследований факторов, ограничивающих инвестиционную активность, ежегодно проводимых Федеральной службой государственной статистики [1]. Среди оцениваемых показателей есть и такой, как «Неопределенность экономической ситуации в стране». Количество субъектов (в процентах от общего числа организаций), отметивших этот пункт, и будет в какой-то мере показывать текущий уровень неопределенности, а точнее, уровень ее влияния на принимаемые решения (табл. 2).

Таблица 2

Капиталообразование в российской экономике (млрд руб.)
Capital formation in Russian economy (RUB. bln)

Показатель	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.
Валовое сбережение	12452	8188	12206	16500	16944	16187
Скрытые внешние сбережения частного сектора	1256	778	786	976	1206	843
Государственные сбережения	5443	1162	1919	4884	4313	3122
Частные валовые национальные сбережения	8265	7804	11073	12593	13837	13908
Накопление «ликвидности» в рублях	92	110	634	581	3	332
Накопление «ликвидности» в иностранной валюте	1179	473	166	527	897	753
Внешние чистые депозиты	1168	896	-425	518	-305	268
Внутреннее суррогатное накопление частным сектором	95	107	123	143	163	181
Внешнее суррогатное накопление частным сектором	1256	778	786	976	1206	843
Частное национальное накопление по мотивам предосторожности	3790	2365	1285	2745	1964	2377
Частное национальное накопление по мотивам дохода	4475	5439	9788	9848	11873	11531
ИТОГО частное валовое национальное накопление	8265	7804	11 073	12593	13837	13908
Валовой располагаемый доход (ВРД)	39996	37457	44721	54029	59921	63345
ВРД госсектора	12803	9228	10591	14986	16202	16143
ВРД частного сектора	27192	28229	34130	39043	43719	47202

Результаты проведенного анализа показали, что в России не наблюдается ярко выраженной зависимости между уровнем доли сбережений, тезаврируемой частными субъектами, и величиной неопределенности. Так, в 2011 г. неопределенность падала, а тезаврируемые сбережения нарастали. Однако предельный анализ обнаруживает, что среди российских субъектов существует четкая прямая зависимость между одним из показателей колебания уровня неопределенности и изменениями тезаврируемых сбережений (рис. 1).

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что российские субъекты не нейтральны не к уровню неопределенности как к таковому, а к его колебаниям. Если темп роста неопределенности выше темпа роста доли частных тезаврируемых сбережений, отечественный бизнес относительно нейтрален к неопределенности и/или преобладают оптимистические настроения, что приводит к развитию позитивных экономических процессов (в первую очередь – инвестиционных). В таком случае можно говорить, что адаптации внутри системы проистекают успешно. Как видно из рис. 1, уровень адаптивной эффективности национальной экономики весьма далек от удовлетворительного.

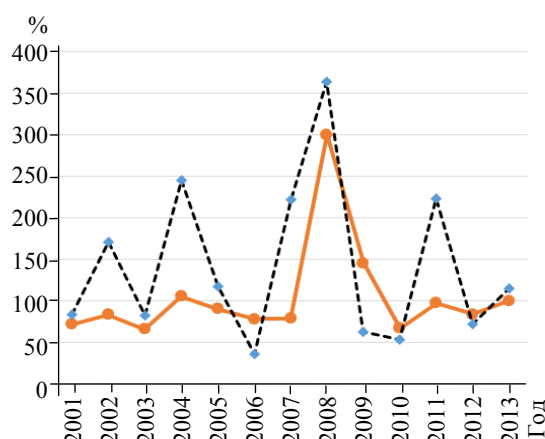


Рис. 1. Оценка темпов колебаний неопределенности и процессов тезаврации в России:

—●— — темп роста неопределенности;
 ---◆--- — темп роста частных тезаврируемых сбережений

Fig. 1. Evaluation of uncertainty deviation rates and hoarding processes in Russia:

—●— — uncertainty growth rate;
 ---◆--- — growth rate of private hoarding savings

Последствия повышения уровня неопределенности для российской экономики

Особую тревогу вызывают тенденции, наблюдаемые в настоящее время. Эксперты в области капиталообразования отметили, что ожидания респондентов относительно собственных инвестиций в 2015 г. оказались еще песси-

мистичнее, чем в 2014 г. Если в 2014-м инвестиции в основной капитал не производили 10 % промышленных предприятий, то в 2015 г. от инвестиций отказались уже 16 % субъектов. Упор в исследованиях подобного рода делался на просто галопирующий рост показателя фактора «неопределенность экономической ситуации в стране» в декабре 2014 г. – январе 2015 г. Резкое увеличение запрещающего влияния этого фактора особо отметили руководители металлургических комплексов (50 % к концу 2014 г., 37 % в 2013 г.); производства транспортных средств (51 % против 36 %); производства резины и пластмассовых изделий (48 % против 34 %); химического производства (40 % против 31 %); производства кокса и нефтехимии (42 % против 30 %) [4, с. 4, 5].

Учитывая изложенное, а также некоторые геополитические тенденции, можно говорить о том, что существует опасная тенденция вхождения России в так называемую мальтузианскую ловушку. Суть ее состоит в том, что «на низком уровне развития сбережения настолько незначительны, что их хватает только на то, чтобы сделать инвестиции в возмещение выбытия основного капитала и создание рабочих мест для новых рабочих, которые вливаются в рабочую силу в результате роста населения. Тонкость здесь состоит в том, что сами темпы роста населения зависят от ВВП на душу населения или производительности труда: если сбережения увеличиваются и ВВП возрастает, то повышается и рождаемость, что заставляет тратить сбережения на создание новых рабочих мест для растущего населения, так что на увеличение капитала на одного занятого (капиталовооруженности), которое и определяет динамику производительности труда, сбережений уже не остается» [5, с. 35–36]. В рассматриваемом случае прирост трудовых ресурсов обеспечен не только демографической ситуацией, но и миграционными потоками (например, в связи с ситуацией на Украине).

На первый взгляд, нет ни логического, ни статистического подтверждения нахождения (либо вхождения) России в мальтузианскую ловушку*. Однако, как показывает Л. Е. Гринин,

* Типичная мальтузианская ловушка характерна для доиндустриальных сложных аграрно-ремесленных обществ с ярко выраженными эффектами отрицательных масштабов производства от использования предельного основного фактора (земли).

в ряде случаев возможно наблюдать мальтузианско-марксовую форму ловушки, когда «проблема перенаселения является не фатальной, а скорее социальной, поскольку рост ВВП на душу населения не отстает от роста населения или даже обгоняет его. Однако быстрая динамика экономики и урбанизации требует существенных трансформаций в политическом строе, правовой системе и пр.» [6, с. 6]. К тому же известны исторические примеры Китая и Индии, которые в Средние века, торгуя пряностями, создавали огромную массу накоплений, превращая их не в инвестиции, а в «храмовые сокровища».

Таким образом, речь идет о возможной «мальтузианско-институциональной» ловушке, для которой будет характерно «устойчивое равновесие, когда любой избыток средств, повышающий капиталовооруженность производства и душевой доход, ведет к росту населения и спроса на инвестиции в создание новых рабочих мест, что на следующем витке процесса приводит к обнулению инвестиций в технологические инновации и блокировке роста душевых доходов» [7, с. 59]. Однако причина лежит не только в плоскости роста трудовых ресурсов, но и в низком качестве национальной институциональной среды, что особо проявляется в виде недостатка адаптивной эффективности, особо негативного влияния неопределенности, низкого уровня институтов, недостатка доверия между бизнесом и государством и т. д.

Для преодоления наметившихся негативных тенденций в краткосрочном периоде рекомендуется прямое участие государства в качестве инвестора либо сберегателя. В длительном периоде – снижение уровня неопределенности путем повышения «качества», стабильности и внутренней непротиворечивости институциональной среды.

Что касается текущего государственного регулирования экономики, здесь все не так однозначно. При повышенном уровне неопределенности бизнес будет осуществлять вложения средств в объекты с относительно низкой степенью специфичности, а сумма инвестиций, требуемых для удовлетворения ожидаемого спроса, окажется гораздо меньше доступных сбережений. Если предприниматели начнут инвестировать в объекты с большей степенью

специфичности (и соответственно более капиталоемкие), это приведет к тому, что предельная эффективность от дополнительной спецификации активов станет меньше цены такой спецификации, что будет невыгодно предприятиям [8, с. 49–52]. Если же степень специфичности инвестиций снизится, возникнет избыток сбережений. Этот избыток сбережений трактуется как вынужденное тесаврирование. В свою очередь, такие сбережения могут усилить мотив спроса на деньги из предосторожности.

В открытой экономике избыточные сбережения (полностью или частично) могут быть выведены за ее пределы – в другие экономические системы, где, с точки зрения владельцев сбережений, сложились более предпочтительные условия.

В случае попыток саморегуляции избыток сбережений может быть частично перераспределен в пользу альтернативных (спекулятивных) рынков. Одновременное падение ставки процента снизит издержки бизнеса, позволит ему инвестировать в более специфичные активы и как следствие снизит избыток сбережений и нарастит суммы инвестиций. Однако подобное снижение не может продолжаться до бесконечности (объективный предел – падение процента до нуля). В случае, если при этом не будет достигнуто новое равновесие, очевидно можно будет сказать, что состояние системы станет негативно устойчивым в том плане, что $I < S$. В самом предельном случае возможно начало кризиса перепроизводства. К тому же часть избытка сбережений уйдет в транзакционный сектор. В конечном итоге изложенная ситуация приведет к повышенному инфляционному давлению на систему.

Таким образом, в этой ситуации государственная политика «удешевления денег» может иметь все шансы усугубить избыточность сбережений. Выход из подобного парадокса посредством политики «дорогих денег» можно объяснить попытками сдерживать инфляцию (или, например, снизить отток ресурсов в открытой экономике). Все это может замедлить модернизационные процессы в экономике и скорость внедрения результатов научно-технического прогресса в производственную сферу, снизив потенциал и качество экономического роста (вплоть до полной его остановки). Также,

очевидно, могут возникнуть проблемы с возрастанием уровня безработицы.

ВЫВОДЫ

1. Развитие текущего кризиса в России протекает на фоне возрастающей неопределенности, что неизбежно ведет к «бегству» сбережений в тезаврируемую форму. Основные причины «бегства» российских сбережений – более низкий уровень неопределенности в тех или иных сопредельных экономиках и более низкая нейтральность отечественных субъектов к неопределенности по сравнению с их зарубежными коллегами. Эта нейтральность, в свою очередь, зависит от качества, непротиворечивости и стабильности национальных формальных и неформальных институтов, наличия действующих институциональных ловушек и т. д. Особую роль в сложившейся ситуации играет то, что в российской практике до сих пор продолжают доминировать «хищный» и «оппортунистический» типы капиталистов, которые могут накапливать богатство только за счет перераспределения того, что создано другими, а также за счет нарушения норм, правил и контрактов [9, с. 36]. Для подобного типа капиталистов характерны следующие черты: неподчинение государству, краткосрочная модель поведения, отказ от инвестиций в капитальные активы (вплоть до невозмещения износа), концентрация сбережений в неорганизованной (тезаврируемой) форме с последующим выводом их за пределы национальной экономики.

2. Для анализа протекающих процессов и более корректных рекомендаций по макроэкономическому планированию и прогнозированию автором предложена методика анализа капиталобразования в кризисной экономике. Этот метод существенно отличается от общепринятого неоклассического анализа. Он позволяет на количественных показателях оценить реакцию субъектов на колебание уровня неопределенности, их нейтральность к неопределенности.

3. На основе предельного анализа можно сделать вывод о низкой адаптивной эффективности российской экономики в 2000–2013 гг., что существенно усиливает негативное влияние

кризисных процессов. Это также подтверждено количественными оценками ожидания респондентов относительно собственных инвестиций в 2015 г.

Из дополнительных преимуществ предложенного метода анализа следует отметить то, что он базируется на стандартных СНС и счетах платежного баланса.

4. Проведенный анализ показал, что в сложившихся условиях активное манипулирование денежно-кредитной политикой не даст очевидного эффекта. Предпочтительными для ликвидации избытка сбережений стали бы меры по стимулированию совокупного спроса (снижение налогов на потребителей и увеличение госрасходов)*. Очевидное негативное последствие подобных действий хорошо известно – возникновение дополнительных стимулов для инфляции спроса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Национальные счета России в 2007–2014 гг. [Электронный ресурс] // Федеральная служба государственной статистики. Режим доступа: http://www.gks.ru/bgd/regl/b15_15/Main.htm. Дата доступа: 15.10.2015.
2. Шеховцова, Ю. А. Моделирование зависимости ВВП от инвестиций в условиях современной российской экономики / Ю. А. Шеховцова // Экономические науки. 2012. № 1 (86). С. 172–177.
3. Годовой отчет Банка России [Электронный ресурс] // Центральный банк Российской Федерации. Режим доступа: <http://www.cbr.ru/publ/?PrId=god>. Дата доступа: 15.10.2015.
4. Остапкин, Г. Инвестиционная активность крупных и средних российских промышленных производств в 2014 г. / Г. Остапкин, И. Лолла // Инвестиции в России. 2015. № 4. С. 3–10.
5. Попов, В. В. Почему Запад разбогател раньше, чем другие страны, и почему Китай сегодня догоняет Запад? Новый ответ на старый вопрос / В. В. Попов // Журнал Новой экономической ассоциации. 2012. № 3. С. 35–66.
6. История и математика: о причинах русской революции / под ред. Л. Е. Гринина, С. Ю. Малкова, А. В. Коротаева. М.: Стереотип, 2010. 432 с.

* В рассматриваемой ситуации могло бы оказать временное позитивное воздействие развитие сектора потребительского кредитования. В этом случае усилятся предпринимательские ожидания по поводу роста спроса, а избыток сбережения перейдет в потребительский сегмент кредитования. Однако все это в условиях санкций и падения реальных доходов сомнительно.

7. Балацкий, Е. В. Институциональная дилемма в период первоначального накопления капитала / Е. В. Балацкий // Журнал экономической теории. 2013. № 4. С. 58–69.
8. Рудяков, В. А. Анализ и оценка эффективности адаптаций к неопределенности в российской экономике / В. А. Рудяков. Иркутск: Изд-во БГУЭП, 2015. 126 с.
9. Ольсевич, Ю. Экономическая теория и природа человека: становится ли тайное явным? / Ю. Ольсевич // Вопросы экономики. 2008. № 12. С. 27–42.
10. Российский статистический ежегодник: [Электронный ресурс] // Федеральная служба государственной статистики Режим доступа: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1135087342078. Дата доступа: 15.10.2015

Поступила 20.10.2015

Подписана в печать 04.01.2016

Опубликована онлайн 30.03.2016

REFERENCES

1. National Accounts in Russia for the Period of 2007–2014. *Federal State Statistics Service*. Available at: http://www.gks.ru/bgd/regl/b15_15/Main.htm (Accessed 15 October 2015) (in Russian).
2. Shekhovtsova Yu. A. (2012) Modeling of GDP Dependence on Investments Under Conditions of the Modern Russian Economy. *Ekonicheskie Nauki* [Economic Sciences], (1), 172–177 (in Russian).
3. Annual Report of Bank of Russia. *Central Bank of Russia*. Available at: <http://www.cbr.ru/publ/?PrId=god> (Accessed 15 October 2015) (in Russian).
4. Ostapkin G., Lolla I. (2015) Investment Activity of Large and Medium-Sized Russian Industrial Enterprises in 2014. *Investitsii v Rossii* [Investments in Russia], (4), 3–10 (in Russian).
5. Popov V. V. (2012) Why Has the West Become Richer Earlier Than Other Countries and Why is China Overtaking the West? New Answer to the Old Question. *Zhurnal Novoy Ekonomicheskoy Assotsiatsii* [Journal of New Economic Association], (3), 35–66 (in Russian).
6. Grinin L. E., Malkov S. Yu., Korotaeva A. V. (2010) *History and Mathematics: about the Reasons of the Russian Revolution*. Moscow, Stereotip. 432 (in Russian).
7. Balatsky E. V. (2013) Institutional Dilemma in the Period of Initial Capital Accumulation. *Zhurnal Ekonomicheskoy Teorii* [Journal of Economic Theory], (4), 58–69 (in Russian).
8. Rudyakov V. A. (2015) *Analysis and Evaluation of Efficiency in Adaptation to Uncertainty in Russian Economy*. Irkutsk: Publishing House of BSUEL [Baikal State University of Economics and Law]. 126 (in Russian).
9. Olsevich Yu. (2008) Economic Theory and Natural Man: Does a Secret Become Apparent? *Voprosy Ekonomiki* [Economic Issues], (12), 27–42 (in Russian).
10. Russian Statistical Yearbook. *Federal State Statistics Service*. Available at: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1135087342078 (Accessed 15 October 2015) (in Russian).

Received: 20.10.2015

Accepted: 04.01.2016

Published online: 30.03.2016