

НАУКА и ТЕХНИКА

**Международный
научно-технический журнал**

**Серия 2. Строительство
Серия 6. Экономика промышленности**

Издается с января 2002 года
Периодичность издания – один раз в два месяца

Учредитель
Белорусский национальный
технический университет

Главный редактор
Борис Михайлович Хрусталеv



Science and Technique (2016)

**International
Scientific and Technical Journal**

**Series 2. Civil and Industrial Engineering
Series 6. Economy in Industry**

Published from January 2002
Publication frequency – bimonthly

Founder
Belarusian National
Technical University

Editor-in-Chief
Boris M. Khroustalev

Журнал включен в базы данных:
Web of Science Core Collection (ESCI), EBSCO, DOAJ, WorldCat,
OpenAIRE, Google Scholar, РИНЦ, ЭБС «Лань», НЭБ «КиберЛенинка», Соционет

The Journal is included in the following databases:
Web of Science Core Collection (ESCI), EBSCO, DOAJ, WorldCat,
OpenAIRE, Google Scholar, RISC, Lan, CyberLeninka, Socionet

СОДЕРЖАНИЕ

Строительство

- Ковалев Я. Н.**
Способы упрочнения адгезионных связей
между поверхностью отработанных
формовочных смесей и органическим вяжущим
при получении активированных
минеральных порошков 451
- Чернякевич О. Ю., Леонович С. Н.**
Расчет состава бетона железобетонных
конструкций, эксплуатирующихся
в условиях класса XC1,
в зависимости от толщины защитного слоя 460
- Осипов С. Н., Поздняков Д. А.**
Некоторые особенности
учета морального износа
при выборе вариантов строительства,
ремонта или реконструкции зданий 469
- Захаревич А. Э.**
Влияние суточных колебаний наружной
температуры на микроклимат помещения 476
- Костикова Г. Д., Земляков Г. В.**
Система оценки проектных решений объектов
жилой недвижимости на предынвестиционной
стадии с применением технологии
нейронных сетей 481
- Дмитриева К. В.**
Расчет жесткой стенки
в упругой весомой полуплоскости 493

CONTENTS

Civil and Industrial Engineering

- Kovalev Ya. N.**
Methods for Strengthening
of Adhesion Bonds between Surface
of Used Molding Sand
and Organic Binder while Obtaining
Activated Mineral Powders 451
- Cherniachevich O. Yu., Leonovich S. N.**
Calculation of Composition for Concrete
of Reinforced Structures Being Operated
under Conditions of XC1 Class According
to Thickness of Protective Layer 460
- Osipov S. N., Pozdniakov D. A.**
Several Specific Features in Record Keeping
of Functional Moral Depreciation
while Selecting Variant for Construction,
Repair or Reconstruction of Buildings 469
- Zakharevich A. E.**
Influence of Daily Outside Temperature
Fluctuations on Indoor Climate 476
- Kostsikava G. D., Zemliakov G. V.**
Evaluation System of Design Solutions
for Residential Property
on Pre-Investment Stage Through
Neural Network Technology 481
- Dmitrieva K. V.**
Analysis of Rigid Wall
in Elastic Weighty Half-Plane 493

Экономика промышленности

Ивуть Р. Б., Зиневич А. С., Скориков В. А. Теоретико-методические основы развития национальной логистической системы в Республике Беларусь	504
Кажуро Н. Я. Концепция устойчивого развития как новая парадигма общественного прогресса ...	511
Трубина Ю. Е. Совершенствование института несостоятельности (банкротства) в Республике Беларусь	521
Zhukovski I. V., Gedranovich A. B. Analysis of Efficiency of Research & Development Activities among Countries with Developed and Developing Economies Including Republic of Belarus while Using Method of Stochastic Frontier Approach (Жуковский И. В., Гедранович А. Б. Анализ эффективности научно-исследовательской деятельности в развитых и развивающихся странах, включая Республику Беларусь, с использованием метода стохастического анализа данных)	528
Короткевич Л. М., Барсуков А. А. Добавленная стоимость как критерий эффективности производственного процесса в промышленности	536
ПЕРЕЧЕНЬ СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ «НАУКА И ТЕХНИКА» В 2016 г.	
Тематический указатель	546

Редакционная коллегия

В. В. БАБИЦКИЙ (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),
В. Г. БАШТОВОЙ (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),
А. В. БЕЛЫЙ (Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь),
В. П. БОЙКОВ (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),
С. В. БОСАКОВ (Республиканское унитарное предприятие по строительству «Институт БелНИИС», Минск, Республика Беларусь),
Ю. В. ВАСИЛЕВИЧ (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),
О. Г. ДЕВОЙНО (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),

Economy in Industry

Ivut R. B., Zinevich A. S., Skorikov V. A. Theoretical and Methodological Fundamentals for Development of National Logistics System in the Republic of Belarus	504
Kazhuro N. Ya. Conception of Sustainable Development as New Paradigm of Social Progress	511
Trubina Yu. E. Improvement of Insolvency Institution (Bankruptcy) in the Republic of Belarus	521
Zhukovski I. V., Gedranovich A. B. Analysis of Efficiency of Research & Development Activities among Countries with Developed and Developing Economies Including Republic of Belarus while Using Method of Stochastic Frontier Approach	528
Korotkevich L. M., Barsukov A. A. Added Value as Efficiency Criterion for Industrial Production Process	536
LIST OF PAPERS PUBLISHED IN "SCIENCE AND TECHNIQUE" JOURNAL IN 2016	
Thematic Index	546

Editorial Board

V. V. BABITSKY (Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus),
V. G. BASHTOVOI (Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus),
A. V. BYELI (Physical-Technical Institute of National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus),
V. P. BOYKOV (Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus),
S. V. BOSAKOV (Republican Unitary Scientific-Research Enterprise for Construction "Institute BelNIIS", Minsk, Republic of Belarus),
Yu. V. VASILEVICH (Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus),
O. G. DEVOINO (Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus),

- К. В. ДОБРЕГО* (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),
- П. И. ДЯЧЕК* (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),
- М. З. ЗГУРОВСКИЙ* (Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Киев, Украина),
- Р. Б. ИВУТЬ* (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),
- А. С. КАЛИНИЧЕНКО* (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь) (заместитель главного редактора),
- М. Г. КИСЕЛЕВ* (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),
- Я. Н. КОВАЛЕВ* (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),
- В. В. КОЗЛОВСКИЙ* (Минский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова», Минск, Республика Беларусь),
- В. М. КОНСТАНТИНОВ* (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),
- Н. В. КУЛЕШОВ* (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),
- С. Н. ЛЕОНОВИЧ* (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),
- С. А. МАСКЕВИЧ* (Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова Белорусского государственного университета, Минск, Республика Беларусь),
- Э. И. МИХНЕВИЧ* (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),
- НГУЕН ТХУ НГА* (Научный энергетический институт Вьетнамской академии наук и технологий, Ханой, Социалистическая Республика Вьетнам),
- М. ОПЕЛЯК* (Технический университет «Люблинская политехника», Люблин, Республика Польша),
- О. Г. ПЕНЯЗЬКОВ* (Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь),
- K. V. DOBREGO* (Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus),
- P. I. DYACHEK* (Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus),
- M. Z. ZGUROVSKY* (National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”, Kiev, Ukraine),
- R. B. IVUT* (Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus),
- A. S. KALINICHENKO* (Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus) (Deputy Editor-in-Chief),
- M. G. KISELEV* (Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus),
- Ya. N. KOVALEV* (Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus),
- V. V. KOZLOVSKIY* (Minsk Branch of Plekhanov Russian University of Economics, Minsk, Republic of Belarus),
- V. M. KONSTANTINOV* (Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus),
- N. V. KULESHOV* (Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus),
- S. N. LEONOVICH* (Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus),
- S. A. MASKEVICH* (International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus),
- E. I. MIHNEVICH* (Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus),
- NGUYEN THU NGA* (Institute of Energy Science of the Vietnam Academy of Science and Technology, Hanoi, Republic of Vietnam),
- M. OPELYAK* (Lublin University of Technology Politechnika Lubelska, Lublin, Republic of Poland),
- O. G. PENYAZKOV* (A. V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus),

Г. А. ПОТАЕВ (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),
О. П. РЕУТ (Филиал БНТУ «Институт повышения квалификации и переподготовки кадров по новым направлениям развития техники, технологии и экономики», Минск, Республика Беларусь),
Ф. А. РОМАНИУК (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),
И. И. СЕРГЕЙ (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),
В. Л. СОЛОМАХО (Республиканский институт инновационных технологий Белорусского национального технического университета, Минск, Республика Беларусь),
С. А. ЧИЖИК (Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь),
А. Н. ЧИЧКО (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),
В. К. ШЕЛЕГ (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),
Й. ЭБЕРХАРДШТАЙНЕР (Венский технический университет, Вена, Австрия),
Б. А. ЯКИМОВИЧ (Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Российская Федерация)

G. A. POTAEV (Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus),
O. P. REUT (Branch of the BNTU "Institute of Advanced Training and Retraining for New Areas of Engineering, Technology and Economy", Minsk, Republic of Belarus),
F. A. ROMANIUK (Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus),
I. I. SERGEY (Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus),
V. L. SOLOMAKHO (Republic Institute of Innovative Technologies of the Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus),
S. A. CHIZHIK (A. V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus),
A. N. CHICHKO (Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus),
V. K. SHELEG (Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus),
J. EBERHARDSTEINER (Vienna University of Technology, Vienna, Austria),
B. A. YAKIMOVICH (M. T. Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russian Federation)

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

http://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

http://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 29.11.2016. 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.

© Белорусский национальный технический университет, 2016

DOI: 10.21122/2227-1031-2016-15-6-451-451-459

УДК 625.855.3

Способы упрочнения адгезионных связей между поверхностью отработанных формовочных смесей и органическим вяжущим при получении активированных минеральных порошков

Докт. техн. наук, проф. Я. Н. Ковалев¹⁾

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

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

Реферат. При формировании структуры прочности асфальтобетона большое значение имеет величина адгезионной связи между минеральной поверхностью кислых кварцевых материалов и органическим вяжущим (битумом). Теоретически и экспериментально установлено, что эта связь недостаточна и вызывает преждевременное разрушение структуры асфальтовяжущего вещества и, в конечном итоге, асфальтобетона. В связи с этим актуальной задачей является поиск эффективных методов упрочнения адгезионных связей между указанными структурными компонентами. Значительную роль в решении данной проблемы играет получение минеральных порошков из отработанной формовочной смеси, активированных различными методами их гидрофобизации. Разработка нескольких способов получения активированных минеральных порошков из отработанной формовочной смеси, а также знание особенностей поведения асфальтобетонов на их основе позволили создать рациональные технологии применительно к условиям работы конкретных асфальтобетонных заводов в любых регионах. Проведенные исследования по гидрофобизации поверхности частиц отработанной формовочной смеси с помощью алкилсиликонатов натрия создали основу для разработки нового эффективного способа получения активированных минеральных порошков из отработанной формовочной смеси. Способ заключается в обработке отработанной формовочной смеси в процессе помола в шаровой мельнице этилсиликонатом натрия (0,3–0,7 % от массы минерального сырья). Ювенильная поверхность частиц свежемолотого порошка имеет максимальную среди известных наполнителей активность по отношению к альтину, что можно объяснить дополнительным структурирующим воздействием химически активных органических литейных связующих, содержащихся в отработанной формовочной смеси. Именно это свойство позволяет широко использовать порошок из отработанной формовочной смеси, в котором в качестве полимерного компонента содержится неотвержденный альтин.

Ключевые слова: отработанная формовочная смесь, гидрофобизация, активированный минеральный порошок, асфальтобетон

Для цитирования: Ковалев, Я. Н. Способы упрочнения адгезионных связей между поверхностью отработанных формовочных смесей и органическим вяжущим при получении активированных минеральных порошков / Я. Н. Ковалев // *Наука и техника*. 2016. Т. 15, № 6. С. 451–459

Methods for Strengthening of Adhesion Bonds between Surface of Used Molding Sand and Organic Binder while Obtaining Activated Mineral Powders

Ya. N. Kovalev¹⁾

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

Abstract. Value of adhesion bond between mineral surface of acid quartz materials and organic binder (bitumen) has a great significance while forming structure of asphalt concrete strengthening. It has been established theoretically and experimentally

Адрес для переписки

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

Address for correspondence

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

ly that the bond is insignificant and it causes premature destruction of structure for asphalt-binding substance and finally asphalt concrete. In this connection the relevant objective of the paper is a search for efficient methods for strengthening of adhesion bonds between the indicated structural components. A development for obtaining mineral powders from used molding sand activated by various hydrofobisation methods plays rather important role in that matter. The development of several methods for obtaining of activated mineral powders from used molding sand and also know-how pertaining to behavior of asphalt concrete formed on their basis have made it possible to create rational technologies which are applicable under operational conditions of the specified asphalt concrete plants in any region. The executed investigations on hydrofobisation of particles surface for the used molding sand with the help of sodium alkyl siliconates have established the basis for development of new efficient method for obtaining activated mineral powders from the used molding sand. The method presupposes treatment of the used molding sand in the process of mill flow in a ball drum while using sodium ethyl silicate (0.3–0.7 % as compared with the mass of mineral raw material). Juvenile particle surface of fresh milled powder from the used molding sand has a maximum activity among the known filling compounds in relation to althin and this phenomenon can be explained by additional structure-forming impact of chemically active organic foundry binding agents which are contained in the used molding sand. That particular property allows to use widely powder from the used molding sand which contains uncured althin as a polymer component.

Keywords: used molding sand, hydrofobisation, activated mineral powder, asphalt concrete

For citation: Kovalev Ya. N. (2016) Methods for Strengthening of Adhesion Bonds between Surface of Used Molding Sand and Organic Binder while Obtaining Activated Mineral Powders. *Science & Technique*. 15 (6), 451–459 (in Russian)

Введение

Поскольку существующая технология приготовления минеральных порошков не ориентирована на использование кремнеземистого (кислого) сырья, а следовательно, не может обеспечить достаточной адгезии битума к кварцевой поверхности, возникла необходимость исследования ряда способов усиления адгезионных контактов между ними. К таким способам относятся: гидрофобизация минеральной поверхности, прививка полимера к минеральной поверхности, активация поверхности минерального материала высокомолекулярными соединениями.

Разработка нескольких способов получения активированных минеральных порошков (МП) из отработанной формовочной смеси (ОФС), а также знание особенностей поведения асфальтобетонных на их основе дают возможность создать рациональные технологии применительно к условиям работы конкретных асфальтобетонных заводов (АБЗ) в любых регионах. Проанализируем кратко названные способы активации минеральных порошков, получаемых из ОФС.

Гидрофобизация минеральной поверхности

Этот вариант основан на способности некоторых веществ, имеющих высокую химическую активность, модифицировать поверхность твердых тел, увеличивая их водоотталкивающую способность. Обычно в качестве гидрофобизаторов применяют стеариновую кислоту, омы-

ленный петролатум, мылонафт, олеиновую кислоту и т. п. [1]. Наиболее универсальными гидрофобизаторами считаются кремнийорганические соединения [2]. Эффект их применения заключается в том, что они содержат в своем составе реакционноспособные атомы и группы, а также углеводородные радикалы (H, OH, OR, OCOR), которые могут взаимодействовать с гидроксидами и оксидами металлов, гидратной и сорбированной водой находящимся на минеральной поверхности, с образованием гидрофобной пленки полисилоксанового полимера [3]. Образующаяся пленка ориентирована таким образом, что силоксановые связи направлены к поверхности минерального материала, а гидрофобные углеводородные радикалы (R) – в сторону окружающего пространства [4]. Благодаря особой структуре кремнийкислородного каркаса и наличию органических групп минеральная поверхность приобретает водоотталкивающую способность, эластичность и хорошую совместимость с органическими вяжущими веществами.

Известна возможность применения кремнийорганических веществ для гидрофобизации минеральных порошков [5]. Однако ОФС отличаются от применяемых исходных минеральных материалов, в связи с чем для получения качественного активированного минерального порошка на их основе необходимы специальный выбор кремнийорганического соединения и анализ его взаимодействия с кварцевой поверхностью ОФС.

Поскольку ОФС – кислый минеральный материал, хорошим сцеплением с поверхностью его частиц будет обладать модификатор с повышенной щелочной реакцией (основностью). В свою очередь, битум, химическая активность которого определяется наличием асфальтогенных кислот и ангидридов, также будет лучше взаимодействовать с минеральным материалом, обладающим повышенной основностью. Исходя из этих положений, предполагается использовать кремнийорганические соединения – органилсиликонаты натрия (ГКЖ-10 и ГКЖ-11), которые отличаются относительно небольшой стоимостью и высоким щелочным показателем (рН до 13) [6].

Основываясь на данных, приведенных в [6], можно предположить, что при получении активированного минерального порошка из ОФС с помощью поверхностно-активных веществ (ПАВ) в виде алкилсиликонатов натрия на кремнеземистой подложке образуется сплошная высокомолекулярная пленка. В структуре пленки можно различать следующие три типа атомов кремния, граничащих со свободной кварцевой поверхностью (отмеченные кружками на рис. 1):

1) прочно скрепленные с поверхностью связью Si–O–Si;

2) слабо соединенные с поверхностью водородной связью посредством силанольных групп, принадлежащих одновременно поверхности минеральных частиц и модификатору;

3) не связанные с поверхностью материала (поэтому для усиления адгезии пленки к поверхности кремнезема необходимо инициировать образование связи Si–O–Si).

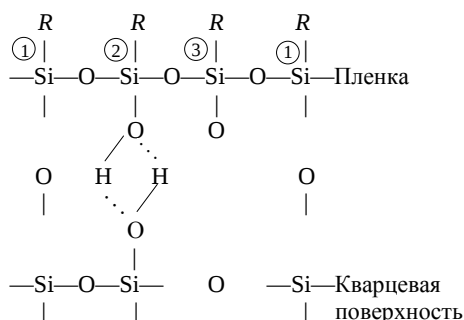


Рис. 1. Структура высокомолекулярной пленки на кварцевой поверхности: R – углеводородные радикалы

Fig. 1. Structure of high molecular film on quartz surface: R – hydrocarbon radicals

Предполагается, что в процессе помола ОФС в присутствии алкилсиликонатов может идти процесс взаимодействия гидрофобизатора

с химически ненасыщенными атомами кислорода ювенильной минеральной поверхности. В результате такого взаимодействия может образовываться новое комплексное соединение, которое обеспечивает стойкую ионную связь молекул гидрофобизатора с ювенильной поверхностью кремнезема.

Взаимодействие влаги и углекислого газа (из воздуха) инициирует в дальнейшем процесс карбонизации, в результате чего на поверхности кремнезема образуется гидрофобная полисилоксановая пленка [4]. Поскольку процесс образования последней протекает длительное время (24–48 ч) и ее связям в этот период угрожает «размыв» влагой, для обеспечения нормальных условий карбонизации необходимо избегать возможного увлажнения порошка. Кроме того, одним из условий получения качественной пленки на поверхности минеральных частиц порошка является оптимизация содержания гидрофобизатора. Только в этом случае на минеральной подложке образуется гидрофобная пленка с мономолекулярным слоем, обеспечивающая максимальную адгезию к органическим вяжущим материалам [7].

Для получения активированного минерального порошка гидрофобизатор ГКЖ-10 (в количестве до 1 % от массы минеральной части) вводили в шаровую мельницу вместе с ОФС. Оценку степени модифицирования поверхности частиц ОФС проводили по характеру изменения ее гидрофильности с помощью метода сорбции паров воды согласно [8].

Для сравнения гидрофобности различных порошков в качестве критерия выбрано отношение давления паров к давлению насыщенных паров (p/p_s). С целью наибольшей наглядности и достоверности получаемых результатов принято $p/p_s = 0,8$. Как показали исследования, гидрофильность для ОФС на органических связующих экстремальна в области концентрации не более 0,7 % от массы ОФС, что можно объяснить изменением ориентации молекул модификатора с увеличением его количества на поверхности частиц ОФС.

При малых концентрациях (0,2–0,6 % массы) молекулы ГКЖ-10 закрепляются на частицах минерала, образуя мономолекулярную гидрофобную пленку по механизму, описанному выше. Дальнейшее увеличение концентрации модификатора приводит к полислоистой адсорбции, когда молекулы ПАВ закрепляются уже на модифицированных участках поверхности за счет гидрофобного взаимодействия углеродных радикалов. При этом свободные Na–O-группы мо-

дификатора легко гидратируются водой, вследствие чего гидрофильность поверхности повышается.

Можно предположить, что в области максимального гидрофобизирующего действия на поверхности минеральных частиц появляется наибольшее число участков, обладающих высоким сродством к вяжущим материалам органической природы (битум) и интенсивно взаимодействующих с ними. Интенсивность физико-химической адгезии на границе «модификатор – вяжущее» изучали методом определения водостойкости бинарных смесей согласно ГОСТ 12784–78. Получение водостойкого асфальтовяжущего подтверждает правильность выбора концентрации активатора и предполагает высокие качественные показатели асфальтобетона.

Проведенные исследования по гидрофобизации поверхности частиц ОФС с помощью алкилсиликонатов натрия создали основу для разработки нового эффективного способа получения активированных МП из ОФС [9]. Способ заключается в обработке ОФС в процессе помола в шаровой мельнице этилсиликонатом натрия (0,3–0,7 % от массы минерального сырья). ОФС имела следующий химический состав (в %): SiO_2 – 87,0–93,0; Al_2O_3 – 1,0–2,5; Fe_2O_3 – 0,5–2,5; $\text{CaO} + \text{MgO}$ – 0,5–2,0; $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ – 0,2–0,4; S – 0,1–0,3; остатки органических веществ – 3,0–8,0. Составы исходной смеси и краевой угол смачивания полученного минерального порошка были такими, как представлено в табл. 1.

Гидрофобность МП, взятого за прототип, оказалась меньшей по сравнению с полученным (краевой угол смачивания у прототипа был в пределах $62^\circ 23' - 83^\circ 59'$). С целью повышения эффективности гидрофобизации МП из кислых горных пород в качестве их активатора использовали омыленный талловый пек [10]. Эффек-

тивность действия таллового пека как активатора обусловлена наличием в его составе, наряду с натриевыми солями жирных кислот, натриевых солей смоляных кислот и спиртов, кетонов, альдегидов терпенового ряда, образующих природную смесь анионных и неионогенных ПАВ и обладающих высоким гидрофобизирующим действием на минеральные наполнители.

Таблица 1

Компонент и показатель	Состав смеси		
ОФС, %	99,7	99,5	99,3
Этилсиликонат натрия, %	0,3	0,5	0,7
Краевой угол смачивания МП из ОФС	$73^\circ 31'$	$86^\circ 12'$	$89^\circ 50'$

ОФС и омыленный талловый пек (в количестве 0,2–0,6 % от массы минерального сырья) измельчали в шаровой мельнице в течение 1,5 ч при скорости вращения барабана 50 об/мин. Применение в качестве активатора омыленного таллового пека дает значительное уменьшение сорбции паров воды на поверхности МП, что свидетельствует о повышении гидрофобности поверхности, вследствие чего обеспечивается прочное сцепление битума с поверхностью минерального материала. Увеличение количества активатора более 0,6 % экономически не оправдано из-за стабилизации свойств МП и асфальтобетона, а его содержание менее 0,2 % ведет к их ухудшению.

На описываемом активированном МП готовили мелкозернистые асфальтобетонные смеси типа Б марки I. Свойства полученного асфальтобетона приведены в табл. 2. Асфальтобетон на активированном МП, полученном по описываемому способу, имеет высокую коррозионную устойчивость.

Таблица 2

Свойства асфальтобетона с использованием минерального порошка, активированного талловым пек

Properties of asphalt concrete while using mineral powder activated by tall oil pit

Наименование показателя	Омыленный талловый пек, %			Требование ГОСТ 9128–84
	0,2	0,4	0,6	
Предел прочности на сжатие, МПа, при температуре, °С:				
20	2,90	3,15	3,06	Не менее 2,20
50	1,15	1,20	1,17	Не менее 0,80
0	10,00	9,76	9,01	Не более 10,00
Водонасыщение, % по объему	3,00	2,40	2,00	1,50–4,00
Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении в течение, сут.:				
15	0,99	1,00	0,98	Не менее 0,85
50	0,88	0,93	0,90	–

Прививка полимера к минеральной поверхности

Прививка полимеров к поверхности минеральных компонентов асфальтобетона является одним из эффективных способов повышения его качества. Кроме того, направленная модификация поверхности каменного материала полимерами расширяет ассортимент местных минеральных материалов [11].

В [12] показано, что полимеры, привитые к поверхности минеральных зерен, усиливают ее взаимодействие с органическими вяжущими. К используемым для этой цели полимерам предъявляются два основных требования: они должны быть достаточно химически реакционными по отношению к минеральному материалу, чтобы обеспечить хорошую адгезию, и обладать совместимостью («сродством») с битумом.

Возможность получения привитых полимеров на твердых неорганических поверхностях впервые была показана в [13]. Исходя из требований минимальной энергоемкости процесса, наиболее практически приемлемым является такой способ прививки полимера к минеральной поверхности, при котором используемые ненасыщенные мономеры и олигомеры могли бы полимеризоваться непосредственно на обрабатываемых свежесформованных поверхностях частиц диспергируемого материала. По данным Л. П. Яновой [14], при таком способе повышается молекулярное взаимодействие поверхности с полимером и улучшаются свойства модифицированного наполнителя.

Поскольку при производстве МП сырье нагревают в сушильном барабане до высоких (200 °С) температур, прививаемый на поверхность минеральных частиц полимер должен быть достаточно термостойким. Этому и вышеперечисленным требованиям отвечают продукты сланцеперерабатывающей промышленности – альтина [15].

Для получения клеящих составов неотвержденного альтина к нему необходимо добавлять отвердитель (полиэтиленполиамин), в результате чего и реализуется процесс поликонденсации. Однако при этом происходит загустевание альтина, он плохо распределяется по поверхности минеральных частиц. В связи

с этим было предложено использовать для активации МП неотвержденный альтин, который согласно [16] может поликонденсироваться при взаимодействии с мелкозернистыми наполнителями из кислых горных пород. Данное свойство альтина должно проявляться более полно при контактировании со свежемолотыми кварцевыми зернами, поскольку в процессе измельчения образуются ионы SiO [17], способные инициировать процесс поликонденсации альтина. При этом образуются реакционноспособные фенолят- и тиолят-анионы, которые активно участвуют в процессе поликонденсации альтина, завершающейся созданием высокогидрофобной полимерной пленки, закрепленной ионными связями с кварцевой минеральной поверхностью.

С целью интенсификации процесса поликонденсации предложено исходное минеральное сырье нагревать в сушильном барабане до максимально допустимой для неотвержденного альтина температуры 180–200 °С. С помощью термографического анализа А. В. Буселом [18] было установлено отсутствие термического разложения альтина при этих температурах. Таким образом, выявлен факт благоприятного сочетания свойств неотвержденного альтина в случае его применения для модифицирования поверхности минеральных порошков, получаемых из ОФС или кварцевых песков.

Для уменьшения расхода альтина предложено в качестве минерального сырья использовать ОФС. Применяли ОФС на органических связующих КО (раствор кубовых остатков органических жирных кислот в уайт-спирите), поскольку они обладают повышенной гидрофобностью вследствие модифицирования их поверхности остатками органических литейных связующих. Результаты испытаний активированных альтином минеральных порошков из ОФС показали, что использование ОФС в качестве сырья уменьшает расход модификатора до 0,5–0,6 %, не снижая гидрофобность порошка.

На основании проведенных исследований разработан новый способ получения высококачественных активированных порошков [19], который заключается в нагреве ОФС в сушильном барабане до температуры 180–200 °С, подаче ОФС одновременно с неотвержденным альтином в шаровую мельницу и модификации

поверхности частиц сырья в процессе помола. Высокая температура вызывает ускорение процесса поликонденсации алтына на поверхности ОФС и позволяет получить на выходе из мельницы качественный активированный кварцевый МП, частицы которого покрыты пленкой полимера, прочно связанного с минеральной поверхностью. Таким образом, ювенильная поверхность частиц свежемолотого порошка из ОФС имеет максимальную среди известных наполнителей активность по отношению к алтину, что можно объяснить дополнительным структурирующим воздействием химически активных органических литейных связующих, содержащихся в ОФС. Именно это свойство позволяет широко использовать порошок из ОФС, в котором в качестве полимерного компонента содержится неотвержденный алтын.

Активированный алтином МП использовали в составе дорожных асфальтобетонов, для чего был подобран оптимальный состав асфальтобетонной смеси (тип Б, марка II). Свойства полученного асфальтобетона отвечают требованиям ГОСТ на этот материал (табл. 3).

Таблица 3

Свойства асфальтобетонов с использованием активированных алтином минеральных порошков из отработанных формовочных смесей

Properties of asphalt concrete while using althin-activated mineral powders from used molding sand

Показатель	Результат испытаний образцов	Требование ГОСТ 9128–84
Предел прочности на сжатие, МПа, при температуре, °С:		
20	3,91	Не менее 2,20
50	1,01	Не менее 1,00
0	9,34	Не более 12,00
Коэффициент водостойкости	0,92	Не менее 0,85
Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении	0,89	Не менее 0,75
Набухание, % по объему	0,39	Не более 1,00

Активация поверхности минерального материала высокомолекулярными органическими соединениями

Наиболее часто для повышения адгезии битума к минеральной поверхности используют следующие материалы: дегти, кубовые остатки синтетических жирных кислот, латексы, нефтеполимерные смолы, отходы переработки сланцевых смол, полиэтиленовый воск. Перечисленные материалы применяются в основном

для модифицирования традиционных МП, получаемых из карбонатного минерального сырья. Поэтому выполняли поиск доступных и эффективных высокомолекулярных материалов для гидрофобизации кварцевой поверхности зерен ОФС.

В настоящее время значительный объем высокомолекулярных связующих используется в литейном производстве для модификации формовочных кварцевых песков. Выбор литейных связующих основывается на критерии их максимальной адгезии к формовочным пескам. В связи с этим возникло предположение о возможности применения органических литейных связующих в качестве модификаторов для получения активированных МП из ОФС.

Типичными представителями литейных связующих являются смолы КФ, МФ и КО. Связующее КФ – это раствор продуктов поликонденсации ксилола, фенола и формальдегида в смеси бутанола и этанола; МФ – частично бутанолизированная мочевиноформальдегидная смола; КО – раствор кубовых остатков синтетических жирных кислот (СЖК) в уайт-спирите.

По результатам испытаний МП, активированных высокомолекулярными литейными КФ и КО, построены графики зависимости величины сорбции паров воды от отношения давления паров к давлению насыщенных паров. График для КФ приведен на рис. 2. Анализ графиков показывает, что эффект от применения указанных связующих-модификаторов одинаков, а их оптимальное содержание в активизируемой смеси должно быть в пределах 0,6–1,2 %.

Эффект активации исходных формовочных смесей указанными связующими заключается в том, что кварцевые частицы покрываются слоем органического соединения, который по мере высыхания растворителя и твердения полимеризуется с образованием сплошной пленки. При этом отдельные реакционноспособные группы модификатора вступают в химическое взаимодействие с активными центрами на ювенильной поверхности минерала. Согласно [20], процесс отверждения КФ протекает по реакции поликонденсации фенола, формальдегида и бутилового спирта. Процесс поликонденсации завершается образованием бутилфенольной смолы, покрывающей в виде пленки поверхности кварцевых частиц. Фенольные гидроксилы, входящие в состав пленки, могут взаимодействовать с активными центрами ювенильной

поверхности, упрочняя связь пленки с минеральной подложкой.

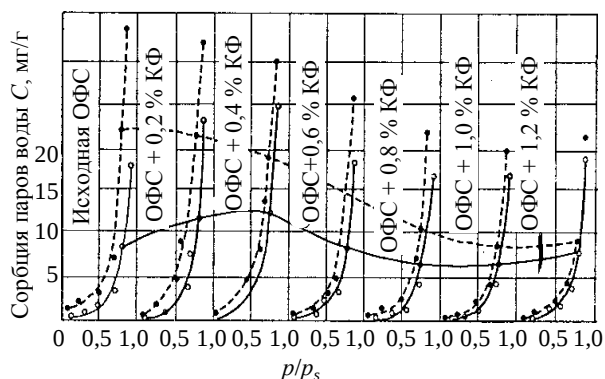


Рис. 2. Зависимость величины сорбции паров воды от отношения давления паров к давлению насыщенных паров для минерального порошка из отработанной формовочной смеси (ОФС), модифицированного связующим КФ: — — ОФС на органических связующих; - - - - ОФС на неорганических связующих

Fig. 2. Dependence of water vapor sorption value on ratio of vapor pressure to saturated vapor pressure for mineral powder from used molding sand which is modified by carbamide-furan binder: — — used molding sand based on organic binders; - - - - used molding sand based on inorganic binders

При твердении смол МФ также протекает реакция поликонденсации, компонентами которой являются мочевины, формальдегид и бутиловый спирт [21]. Реакция отверждения связующего МФ завершается образованием мочевиноформальдегидной смолы, которая интенсивно взаимодействует с активными центрами кварцевой поверхности посредством аминных, карбонатных и гидроксильных групп.

Несколько по-другому идет процесс гидрофобизации кварцевой поверхности при использовании связующего КО. Кубовые остатки СЖК имеют формулу $R-COOH$, где R — углеводородная цепь $C_{17}-C_{21}$ с примесями спиртов.

Предполагается, что процесс образования гидрофобной пленки на поверхности кварцевых частиц ОФС протекает в такой последовательности: гидроксильные группы ювенильной поверхности частиц ОФС взаимодействуют с $COOH$ -группами кубовых остатков СЖК и образуют сложные эфиры. Одновременно при испарении уайт-спирита идет процесс полимеризации молекул СЖК с образованием на ювенильной поверхности частиц ОФС сплошной полимерной пленки.

После образования на поверхности минеральных частиц мономолекулярной пленки

сшитого полимера дальнейшее добавление модификатора ведет к рыхлому полислоному ее строению. Это стимулирует увеличение роста адсорбции воды. Таким образом, анализ кинетики сорбции паров воды позволяет оптимизировать количество применяемого модификатора.

Мономолекулярный слой модификатора на поверхности частиц порошков должен способствовать максимальной его адгезии с битумом. Это положение было экспериментально подтверждено при испытании образцов смесей активированных порошков с битумом на водостойкость (коэффициент водостойкости определяли по ГОСТ 12801–84). Испытываемые на водостойкость образцы бинарных смесей содержали минеральные порошки, активированные различным количеством ГКЖ-10. Результаты экспериментов представлены на рис. 3. Из них следует, что минимальному значению гидрофильности МП соответствует максимальная водостойкость бинарной смеси. Это хорошо согласуется с данными И. П. Шульгинского и Г. Б. Крижановской [22], а также подтверждает закон створа при переходе от молекулярных явлений на границе раздела фаз к субмикромезоструктурному уровням.

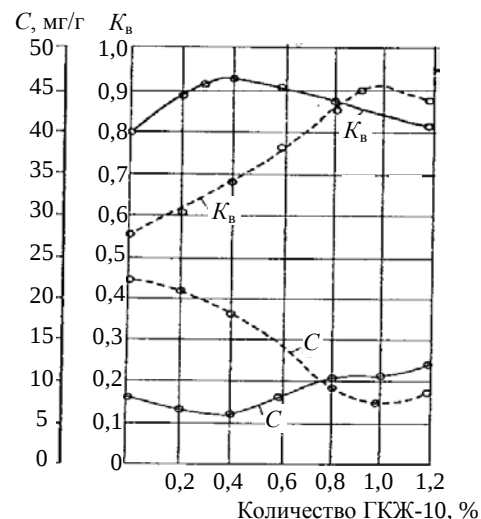


Рис. 3. Зависимость коэффициента водостойкости K_b и величины сорбции паров воды C для бинарных смесей от количества модификатора (ГКЖ-10): — — ОФС на органических связующих; - - - - ОФС на неорганических связующих

Fig. 3. Dependence of water resistance coefficient K_b and water vapor sorption value C for binary mixtures on modifier (ГКЖ-10) quantity:

— — used molding sand based on organic binders; - - - - used molding sand based on inorganic binders

ВЫВОДЫ

1. Для получения активированных минеральных порошков из отработанной формовочной смеси установлена возможность применения следующих способов, усиливающих адгезионные связи между минеральной поверхностью измельчаемого сырья и органическим вяжущим:

а) гидрофобизации кремнийорганическими соединениями (ГКЖ-10, ГКЖ-11 вводятся в шаровую мельницу в количестве 0,2–0,5 % от массы отработанной формовочной смеси);

б) прививки полимера к ювенильной кварцевой поверхности (неотвержденный алтын добавляется в процессе помола к нагретому до 180–200 °С минеральному кварцевому сырью в количестве 0,4–0,8 % от его массы);

в) химической модификации зерен отработанной формовочной смеси высокомолекулярным поверхностно-активным веществом (литейные смолы КФ, МФ добавляются в измельчаемое минеральное сырье в количестве 0,8–1,0 %; а связующее КО – в количестве 0,6–0,8 % от массы сырья).

2. Проведенные теоретические и экономические исследования позволили определить оптимальные режимы получения активированных минеральных порошков на основе дешевого кремнеземистого сырья – отработанной формовочной смеси.

ЛИТЕРАТУРА

- Куринов, Б. С. Роль минерального порошка в процессе структурообразования песчаного асфальтобетона / Б. С. Куринов // Методы исследования строительных материалов. Элиста, 1976. С. 90–98.
- Пашенко, А. А. Кремнийорганические покрытия холодного отверждения / А. А. Пашенко. Киев: Выща шк., 1972. 78 с.
- Андрианов, К. А. Полимеры с неорганическими главными цепями молекул / К. А. Андрианов. М.: АН СССР, 1962. 327 с.
- Гидрофобизация / А. А. Пашенко [и др.]. Киев: Наук. думка, 1973. 239 с.
- Сотникова, В. Н. Гидрофобизация кремнийорганическими соединениями некондиционных порошков для асфальтобетона / В. Н. Сотникова // Труды СоюздорНИИ. 1969. Вып. 34. С. 189–199.
- Повышение качества стеклопластиков с помощью аппретов / М. Г. Воронков [и др.]. Киев: УкрНИИНТИ, 1976. 63 с.
- Модифицирование минеральных порошков, полученных из отработанных формовочных смесей / Я. Н. Ко-

- валев [и др.] // Строительство и эксплуатация автомобильных дорог и мостов: сб. науч. статей. Минск: БелдорНИИ, 1980. С. 77–80.
- Комаров, В. С. Адсорбционно-структурные, физико-химические и каталитические свойства глин Белоруссии / В. С. Комаров. Минск: Наука и техника, 1970. 317 с.
- Способ приготовления активированного минерального порошка для асфальтобетонной смеси: а. с. № 833727 СССР: МПК С04В 13/30 / Я. Н. Ковалев, А. В. Бусел, А. А. Куприянич, Д. И. Кукуй, Ю. П. Ледян; дата публ.: 30.05.1981.
- Способ приготовления активированного минерального порошка: а. с. № 1271845 СССР: МПК С04В 20/02, С04В 26/26 / Я. Н. Ковалев, А. В. Бусел, Ф. Ф. Можейко, В. В. Шевчук, А. П. Одерихо, Н. А. Кутний, А. Н. Головин; дата публ.: 23.11.1986.
- Слепая, Б. М. Основы применения в асфальтобетоне минеральных материалов, модифицированных полимерами / Б. М. Слепая, Л. Б. Гезенцев // Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. по производству и применению искусственных строительных материалов в сельскохозяйственном строительстве. Брест, 1979. С. 207–208.
- Маркина, Г. Я. Использование полимеров для модифицирования минеральных порошков / Г. Я. Маркина // Труды СоюздорНИИ. 1978. Вып. 107. С. 100–103.
- Deuel, H. Vber das von Quazz Pulvern in Gedenwart Organischer Verbindungen / H. Deuel, R. Gentili // Helvetice Chimica Acta. 1956. Vol. 39. P. 1586–1589.
- Янова, Л. П. Механо-химическое моделирование поверхности порошков ионных кристаллов прививкой полимера / Л. П. Янова // Физико-химические свойства и структура полимеров. Киев: Наук. думка, 1977. С. 136–140.
- Поконова, Ю. В. Алтыны – новые продукты сланцевой химии / Ю. В. Поконова. Л.: Изд-во ЛТИ, 1982. 90 с.
- Поконова, Ю. В. Химия и технология сланцевых фенолов / Ю. В. Поконова, В. А. Проскуряков, В. И. Левановский. Л.: Изд-во ЛТИ, 1979. 191 с.
- Стрельцин, Г. С. Поверхностные свойства кварца / Г. С. Стрельцин // Коллоидный журнал. 1968. Т. 30, № 4. С. 592–595.
- Бусел, А. В. Получение активированных минеральных порошков из отработанных формовочных смесей и их применение в дорожном асфальтобетоне / А. В. Бусел. Минск, 1983. 22 с.
- Способ приготовления активированного минерального порошка: а. с. № 1011598 СССР: МПК С 04 В 31/40 / Я. Н. Ковалев, Ю. В. Поконова, А. В. Бусел, Н. В. Мелешко; дата публ.: 15.04.1983.
- Состав покрытий: а. с. № 382655 (СССР) / Ю. В. Поконова, В. В. Проскуряков // Бюл. изобрет. 1973. № 23.
- Голдберг, М. М. Сырье и продукты для лакокрасочных материалов: справ. пособие / М. М. Голдберг, Т. А. Ермолаева, М. Л. Лившиц. М.: Химия, 1978. 512 с.
- Шульгинский, И. П. Физико-химические параметры для оценки эффективности активации минеральных порошков / И. П. Шульгинский, Г. Б. Крижановская // Труды СоюздорНИИ. 1979. Вып. 113. С. 106–113.

Поступила 31.07.2015

Подписана в печать 18.04.2016

Опубликована онлайн 29.11.2016

REFERENCES

1. Kurinov B. S. (1976) Role of Mineral Powder in the Structure Formation Process for Sand Asphalt Concrete. *Methods for Investigation of Construction Materials*. Elista, 90–98 (in Russian).
2. Pashchenko A. A. (1972) *Organosilicon Coatings of Cold Curing*. Kiev, Vishcha Shkola. 78 (in Russian).
3. Andrianov K. A. (1962) *Polymers with Inorganic Primary Molecular Chains*. Moscow, USSR Academy of Sciences. 327 (in Russian).
4. Pashchenko A. A., Voronkov M. G., Mikhailenko L. A., Kruglitskaia V. Ia., Lasskaia E. A. (1973) *Hydrophobization*. Kiev, Naukova Dumka. 239 (in Russian).
5. Sotnikova V. N. (1969) Hydrophobization with Organosilicon Compounds of Substandard Powder for Asphalt Concrete. *Trudy SoiuzdorNII* [Proceedings of SouzдорNII [Highway Scientific-Research Institute], Issue 34, 189–199 (in Russian).
6. Voronkov M. G., Makarskaia V. M., Pashchenko A. A., Krupa A. A. (1976) Improvement of Glass-Fiber Reinforced Plastic Quality with the Help of Coupling Agents. Kiev, UkrNIINTI [Ukrainian Scientific-Research Institute of Scientific-Technical Information and Technical-and-Economic Investigations]. 63 (in Russian).
7. Kovalev Ya. N. [et al.] (1980) Modified Mineral Powders Obtained from Used Molding Sand Mixtures. *Stroitelstvo i Eksploatatsiia Avtomobil'nykh Dorog i Mostov: Sb. Nauch. Statei* [Construction and Operation of Highways and Bridges: Collection of Research papers of BeldorNII [Belarusian Road Scientific-Research Institute]. Minsk, BeldorNII [Belarusian Road Scientific-Research Institute], 77–80 (in Russian).
8. Komarov V. S. (1970) *Adsorptive and Structural, Physicochemical and Catalytic Properties of Clay in Belarus*. Minsk, Nauka i Tekhnika. 317 (in Russian).
9. Kovalev Ya. N., Busel A. V., Kupriyanchik A. A., Kukui D. I., Ledyan Yu. P. (1981) Method for Preparation of Activated Mineral Powder for Asphalt Concrete Mix. Inventor's Certificate No 833727 USSR (in Russian).
10. Kovalev Ya. N., Busel A. V., Mozheyko F. F., Shevchuk V. V., Oderikho A. P., Kutny N. A., Golovin A. N. (1986) Method for Preparation of Activated Mineral Powder. Inventors Certificate No 1271845 USSR (in Russian).
11. Slepaya B. M., Gezentsvey L. B. (1979) Basic Principles for Application of Mineral Materials in Asphalt Concrete Which are Modified by Polymers. *Kratkie Tezisy Dokladov na Vsesoiuznoi Nauchno-Tekhnicheskoi Konferentsii po Proizvodstvu i Primeneniiu Iskusstvennykh Stroitelnykh Materialov v Selskokhoziaistvennom Stroitelstve* [Brief Abstracts of Reports Made at All-Union Conference on Production and Application of Man-Made Construction Materials in Agricultural Construction]. Brest, 207–208 (in Russian).
12. Markina G. Ya. (1978) Usage of Polymers for Modification of Mineral Powder. *Trudy SoiuzdorNII* [Proceedings of SouzдорNII [Highway Scientific-Research Institute], Issue 107, 100–103 (in Russian).
13. Deuel H., Gentili R. (1956) Vber das von Quazz Pulvern in Gedenwart Organischer Verbindungen. *Helvetica Chimica Acta*, 39, 1586–1589.
14. Yanova L. P. (1977) Mechanochemical Simulation of Powder Surface for Ionic Crystals with Polymer Grafting. *Physicochemical Properties and Structure of Polymers*. Kiev, Naukova Dumka, 136–140 (in Russian).
15. Pokonova Yu. V. (1982) *Altines as New Shale Chemistry Products*. Leningrad, Leningrad Technological Institute Publishing House. 90 (in Russian).
16. Pokonova Yu. V., Proskuryakov V. A., Levanovsky V. I. (1979) *Chemistry and Technology of Shale Oil Phenols*. Leningrad, Leningrad Technological Institute Publishing House. 191 (in Russian).
17. Streltsin G. S. (1968) Surface Properties of Quartz. *Kolloidnyi Zhurnal* [Colloid Journal], 30 (4), 592–595 (in Russian).
18. Busel A. V. (1983) *Obtainment of Activated Mineral Powders from Used Molding Sand Mixtures and their Application for Road Asphalt Concrete*. Minsk, 22 (in Russian).
19. Kovalev Ya. N., Pokonova Yu. V., Busel A. V., Meleshko N. V. (1983) Method for Preparation of Activated Mineral Powder. Inventor's Certificate No 1011598 USSR (in Russian).
20. Pokonova Yu. V., Proskuryakov V. V. (1973) Coating Composition. Inventor's Certificate No 382655 USSR (in Russian).
21. Goldberg M. M., Ermolaeva T. A., Livshits M. L. (1978) *Raw Material and Products for Paint Materials. Reference Guide*. Moscow, Khimiya. 512 (in Russian).
22. Shulginsky I. P., Krizhanovskaya G. B. (1979) Physicochemical Parameters for Efficiency Evaluation of Mineral powder Activation. *Trudy SoiuzdorNII* [Proceedings of SouzдорNII [Highway Scientific-Research Institute], Issue 113, 106–113 (in Russian).

Received: 31.07.2015

Accepted: 18.04.2016

Published online: 29.11.2016

Расчет состава бетона железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в условиях класса XC1, в зависимости от толщины защитного слоя

О. Ю. Чернякевич¹⁾, докт. техн. наук, проф. С. Н. Леонович²⁾

¹⁾КУП «Брестжилстрой» (Брест, Республика Беларусь),

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

© Белорусский национальный технический университет, 2016

Belarusian National Technical University, 2016

Реферат. Коррозия арматуры – важнейшая проблема долговечности железобетонных конструкций, как правило, обусловливается карбонизацией окружающего ее бетона. Из-за различий в условиях изготовления и эксплуатации конструкций расчет защитного слоя бетона на стадии проектирования является прогнозным. Применение вероятностных методов к моделированию процесса карбонизации позволяет получать прогнозные оценки глубины карбонизации бетона и, как следствие, назначать минимальную толщину защитного слоя бетона для заданного расчетного срока эксплуатации конструкций. В статье описаны правила подбора состава бетона под определенные классы по прочности, рассмотрены действующие рекомендации по назначению классов бетона по прочности и требуемой толщине защитного слоя. В европейских нормах EN 206:2013 приводятся требования к максимальному значению водоцементного отношения, минимальному содержанию цемента и минимальному классу бетона по прочности в соответствии с классом XC1 по условиям эксплуатации. Поскольку данный стандарт не содержит обоснований этих требований, авторами предпринята попытка получить их научное подтверждение. При решении такой задачи использовали вероятностное моделирование процессов карбонизации бетона для составов, рассчитанных по программе ВТК-коррозия. Выполнен вероятностный расчет глубины карбонизации бетона для железобетонных конструкций с защитным слоем бетона 20–35 мм для наиболее неблагоприятных условий в рамках класса XC1 по условиям эксплуатации.

Ключевые слова: карбонизация бетона, железобетонная конструкция, предельное состояние, долговечность, защитный слой бетона, индекс надежности

Для цитирования: Чернякевич, О. Ю. Расчет состава бетона железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в условиях класса XC1, в зависимости от толщины защитного слоя / О. Ю. Чернякевич, С. Н. Леонович // *Наука и техника*. 2016. Т. 15, № 6. С. 460–468

Calculation of Composition for Concrete of Reinforced Structures Being Operated under Conditions of XC1 Class According to Thickness of Protective Layer

O. Yu. Cherniakevich¹⁾, S. N. Leonovich²⁾

¹⁾CIE (Communal Unitary Enterprise) “Brestzhilstroy” (Brest, Republic of Belarus),

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

Abstract. Reinforcement corrosion is considered as the most important problem in respect of reinforced concrete structures durability and it is usually caused by carbonization of concrete that surrounds it. Due to differences in structure manufacturing and operational conditions calculation of protective concrete layer is taken as a predictive one at the design stage. Application of probabilistic methods for simulation of the carbonization process makes it possible to obtain prediction estimates for concrete carbonation depth and consequently it allows to prescribe a minimum thickness of the protective concrete layer for a predetermined expected useful life of structures. The paper describes procedures on concrete proportioning for specific strength classes and it considers standard recommendations on application of concrete grades according to strength and the required thickness of the protective layer. European Standards EN 206:2013 contain requirements to maximum value

Адрес для переписки

Чернякевич Оксана Юозефовна
КУП «Брестжилстрой»
ул. Гоздецкого, 11,
224028, г. Брест, Республика Беларусь
Тел.: +375 162 53-07-90
cherniakevich@tut.by

Address for correspondence

Cherniakevich Oksana Yu.
CIE (Communal Unitary Enterprise) “Brestzhilstroy”
11 Gozdetsky str.,
224028, Brest, Republic of Belarus
Tel.: +375 162 53-07-90
cherniakevich@tut.by

of water/cement ratio, minimum cement content and minimum concrete grade according to strength in compliance with class XC1 while following operational conditions. As the given standard does not comprise any justifications for the requirements an attempt has been made to obtain their scientific support. Probabilistic simulation of concrete carbonation processes for mixes has been used for solution of the problem. The mixes have been calculated with the help of VTK-corrosion software. Probabilistic calculation of the concrete carbonation depth for reinforced concrete structures with 20–35 mm-protective concrete layer has been made in the paper. The calculation has been accomplished for the most adverse conditions within the framework of class XC1 while following operational conditions.

Keywords: carbonation of concrete, reinforced concrete structure, limit state, durability, protective concrete layer, reliability index

For citation: Cherniakov O. Yu., Leonovich S. N. (2016) Calculation of Composition for Concrete of Reinforced Structures Being Operated under Conditions of XC1 Class According to Thickness of Protective Layer. *Science & Technique*. 15 (6), 460–468 (in Russian)

В основе главных нормативных документов, касающихся проектирования строительных конструкций с заданным уровнем надежности (СНБ 5.03.01–2002 [1], ТКП ЕН 1990–2011 [2], СТБ ISO 2394–2007 [3], СТБ EN 13670–2012 [4], EN 206:2013 (E) [5]), лежит следующее требование: конструкции и конструктивные элементы следует проектировать и изготавливать таким образом, чтобы их можно было эксплуатировать на протяжении всего расчетного срока службы с минимальными экономическими затратами.

В данной статье применяется прямой метод Монте-Карло, поскольку от него берут свое начало все симуляционные методы, которые позволяют решать задачи со значительной нелинейностью функции состояния или невозможностью ее дифференцировать. К тому же к достоинствам симуляционных методов можно отнести и инвариантность относительно применяемых типов распределений для базисных переменных.

Необходимым этапом во всех симуляционных методах является генерирование реализаций стохастических переменных с произвольным распределением вероятностей. В общем случае сначала генерируют случайную величину с равномерным распределением, а затем производят трансформацию полученного массива значений в массив с заданным распределением. Большинство современных компьютерных математических программ позволяют генерировать массивы значений с заранее заданным законом распределения. Результатом статистических испытаний (симуляций), как правило, служит вероятность отказа конструкции – относительное количество отказов. В случае необходимости результатом может быть индекс надежности или гистограмма распределения стохастической границы безопас-

ности, которую затем, например, можно аппроксимировать аналитической функцией распределения вероятностей. Входными параметрами при всех перечисленных задачах являются базисные переменные, каждая из которых представляется либо имеющей вероятностный характер, либо равной детерминированному значению.

Математическая модель карбонизации, представленная далее в статье, объединяет два механизма: диффузию и связывание CO_2 , на которые влияют относительная влажность, высушивание и увлажнение бетона и др. Приведенная в проекте Dura Crete [6] модель удобна для практического применения инженерами. Модель карбонизации Dura Crete, уточненная С. Gehlen [7], рассматривает влияние факторов окружающей среды

$$x_c = \sqrt{2k_{RH}k_c \left(k_t R_{ACC,0}^{-1} + \varepsilon_t \right) C_s} \sqrt{t \left(\frac{t_0}{t_{cl}} \right)^{\frac{(p_{SR}T_{OW})^{b_w}}{2}}} =$$

$$= \sqrt{2k_{RH}k_c \left(R_{NAC,0}^{-1} \right) C_s} \sqrt{t \left(\frac{t_0}{t_{cl}} \right)^{\frac{(p_{SR}T_{OW})^{b_w}}{2}}}, \quad (1)$$

где x_c – глубина карбонизации бетона, мм; k_{RH} – коэффициент относительной влажности окружающей среды; k_c – коэффициент, учитывающий период ухода за бетоном (т. е. сохранение при твердении бетона его влажностного состояния, которое исключает раннее высушивание, повышает степень гидратации, а проницаемость бетона для газов с увеличением длительности ухода понижается); k_t – то же использование ускоренного метода карбонизации бетона; ε_t – погрешность, учитывающая использование ускоренного метода карбонизации, $\text{мм}^2/\text{год}/(\text{кг}/\text{м}^3)$; $R_{ACC,0}^{-1}$ – обратное эффективное сопротивление карбонизации в бетоне, определенной в услови-

ях ускоренной карбонизации, $\text{мм}^2/\text{год}/(\text{кг}/\text{м}^3)$; $R_{\text{NAC},0}^{-1}$ – обратное эффективное сопротивление карбонизации бетона в образцах естественной карбонизации, $\text{мм}^2/\text{год}/(\text{кг}/\text{м}^3)$; C_s – концентрация CO_2 в окружающем воздухе, $\text{кг CO}_2/\text{м}^3$; $t_{\text{сл}}$ – время эксплуатации конструкции или расчетный срок службы, год; t_0 – эталонное время, год; p_{SR} – вероятность ветра во время дождя; T_{0w} – время увлажнения; b_w – экспонент регрессии при нормальном распределении, при $m = 0,446$ $b_w = 0,163$.

Полный вероятностный расчетный метод карбонизации в бетоне без трещин, в котором толщина защитного слоя бетона сравнивается с глубиной карбонизации $x_c(t_p)$ за определенное время t_p , можно представить следующей формулой:

$$g(a, x_c(t_p)) = a - x_c(t_p) = a - \sqrt{2k_{RH}k_c(k_t R_{\text{ACC},0}^{-1} + \varepsilon_t)C_s \sqrt{t_p} W(t_p)}, \quad (2)$$

где $g(a, x_c(t_p))$ – функция предельного состояния, определяющая остаточную толщину защитного слоя после эксплуатации конструкции в течение времени t_p ; a – толщина защитного слоя бетона, мм; $x_c(t_p)$ – глубина карбонизации бетона за время t_p , мм.

Толщина защитного слоя бетона a выбирается на стадии проектирования в зависимости от условий эксплуатации конструкции. Это не постоянная, а случайная величина. Предельные отклонения защитного слоя бетона, согласно [8], приведены в табл. 1. Они позволяют выполнить теоретический анализ некоторых параметров распределения случайных отклонений σ . Что касается параметра μ_y , то можно заметить, что рекомендации [9] (μ составляет от -10 до 10 мм) соответствуют, скорее, требованиям [10]. Белорусские нормы приводят диапазон μ от -5 до $+15$ мм. Фактические исследования указывают на явный положительный тренд отклонений толщины защитного слоя бетона со средним

значением около $\mu_y = 10$ мм для нижней арматуры. Для верхней арматуры данных недостаточно, однако они указывают на еще большие значения средних отклонений.

Коэффициент относительной влажности k_{RH} можно рассчитать по следующему уравнению [7, 9, 12]:

$$k_{RH} = \left(\frac{1 - \left(\frac{RH_{\text{real}}}{100} \right)^{f_e}}{1 - \left(\frac{RH_{\text{ref}}}{100} \right)^{f_e}} \right)^{g_e}, \quad (3)$$

где RH_{real} – относительная влажность воздуха по данным гидрометеостанций; RH_{ref} – эталонная влажность воздуха (65 %).

Коэффициенты g_e и f_e определяются методом аппроксимации кривой, полученной по данным эксплуатационных измерений. В [7, 12–14] рекомендуется использовать значения $g_e = 2,5$ и $f_e = 5,0$. Величину RH_{real} можно определить исходя из среднегодовых значений относительной влажности, определяемых по данным метеорологических станций для конкретной местности. В рассматриваемом исследовании значения относительной влажности принимали для железобетонных конструкций класса XC1 по условиям эксплуатации.

На параметр k_c оказывает влияние продолжительность ухода за бетоном t_c (табл. F.1–F.3 [5]). Согласно [12, 14]:

$$k_c = \left(\frac{t_c}{a_c} \right)^{b_c}, \quad (4)$$

где t_c – продолжительность ухода за бетоном, дни; a_c – параметр регрессии, $a_c = 7^{b_c}$ (дни) [12, 13]; b_c – показатель регрессии при нормальном распределении ($\mu = -0,567$; $\sigma = 0,024$) [7, 14].

Расчет параметра k_c можно выполнить по уравнению (4) либо принять из табл. 2.

Таблица 1

Предельные отклонения защитного слоя бетона согласно [8, 10, 11]

Extreme deviations of concrete protective layer according to [8, 10, 11]

Номинальный размер a , мм	Допуск Δ (мм) по ГОСТ 13015.0 [8] при размере сечения, мм				Δa_{dev} (мм) по EN 1992-1-1 [10]	Δa_{dev} (мм) по DIN 1045-1 [11]
	<100	100–200	200–300	>300		
10–14	+4, –0	+5, –0	+6, –0	–	±10	±10 – внутренние элементы, ±15 – наружные элементы
4–19	+4, –3	+8, –3	+10, –3	+15, –5		
Более 19	±5	+8, –5	+10, –5	+15, –5		

Таблица 2

Значения параметра k_c для различных периодов продолжительности ухода за бетоном t_c согласно [7, 12, 14]Values of k_c -parameter for various duration on concrete curing t_c according to [7, 12, 14]

Продолжительность ухода за бетоном t_c , дни	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
k_c	3,00	2,03	1,61	1,37	1,20	1,09	1,00	0,92	0,86	0,81	0,77	0,73	0,70	0,67

В данной статье рассматривается пример железобетонного элемента с продолжительностью ухода за бетоном $t_c = 1$ день, $k_c = 3,0$. Эффективное сопротивление карбонизации зависит от эффективного коэффициента диффузии $D_{\text{reff},0}$ и способности связывания a_{CO_2} в бетоне:

$$R_{\text{NAC},0} = \frac{a_{\text{CO}_2}}{D_{\text{reff},0}}, \quad (5)$$

где a_{CO_2} – коэффициент, учитывающий способность CO_2 закрепляться в бетоне, кг $\text{CO}_2/\text{м}^3$; $D_{\text{reff},0}$ – эффективный коэффициент диффузии для бетона, $\text{м}^2/\text{с}$;

$$a_{\text{CO}_2} = 0,75m_{\text{CaO}}m_cDH \left(\frac{M_{\text{CO}_2}}{M_{\text{CaO}}} \right), \quad (6)$$

m_{CaO} – содержание CaO в цементе, доли ед.; m_c – то же цемента в бетоне, кг/м³; DH – степень гидратации цемента, доли ед.; M – молярная масса соответствующего вещества, кг/моль.

Для расчета эффективного сопротивления карбонизации в бетоне с использованием (5) и (6) определим эффективный коэффициент диффузии углекислого газа ($\text{см}^2/\text{с}$) в капиллярно-пористой среде бетона по формуле, полученной М. Голшани [15]:

$$D_{\text{reff},0} = \frac{0,0025\Pi_k^2}{\sqrt[3]{V_k^2}}, \quad (7)$$

где Π_k – капиллярная пористость бетона, доли ед.; V_k – объем цементного камня в бетоне, доли ед.

Выражение для расчета эффективного сопротивления карбонизации бетона $R_{\text{NAC},0}$ ($\text{м}^2/\text{с}/(\text{кг}/\text{м}^3)$) (с использованием NAC-метода естественной карбонизации (5)) запишется следующим образом:

$$R_{\text{NAC},0} = \frac{\left(0,75m_{\text{CaO}}m_cDH \left(\frac{M_{\text{CO}_2}}{M_{\text{CaO}}} \right) \right)}{\frac{0,0025\Pi_k^2}{\sqrt[3]{V_k^2}} \cdot 10^{-4}} = \frac{\left(0,75m_{\text{CaO}}m_cDH \left(\frac{M_{\text{CO}_2}}{M_{\text{CaO}}} \right) \right)}{\frac{0,0025\Pi_k^2}{\sqrt[3]{\left(m_c \left(\frac{1}{\rho_c} + \frac{B/\Pi}{\rho_b} \right)^2} \right)} \cdot 10^{-4}}, \quad (8)$$

где B/Π – водоцементное отношение.

Уравнение для расчета капиллярной пористости бетона Π_k запишем согласно [16]

$$\Pi_k = \frac{m_c \left(0,98 \left(\frac{B}{\Pi} \right) - 0,0094 - 0,369DH \right)}{1000}, \quad (9)$$

Согласно EN 206:2013 (Е) [5], требования к качеству бетонов должны устанавливаться с учетом классов по условиям эксплуатации конструкций. Кроме того, следует учитывать требования к предельным значениям параметров бетонной смеси, приведенным в табл. 3, 4.

Таблица 3

Класс среды по условиям эксплуатации конструкций XC1 в зависимости от характеристики окружающей среды [5]

Environmental class according to operational conditions for structures XC1 and depending on characteristics of environment [5]

Класс среды по условиям эксплуатации	Характеристика окружающей среды	Пример для классов среды по условиям эксплуатации
XC1	Сухая или постоянно влажная	Элементы конструкций внутри помещений с низкой влажностью воздуха; элементы конструкций, постоянно находящиеся в воде

Предельные значения параметров бетонной смеси согласно EN 206:2013 [5]

Maximum values of concrete mixture according to EN 206:2013 [5]

Параметр бетонной смеси	Предельное значение параметра бетонной смеси в зависимости от класса XC1 (карбонизация)
Максимальное В/Ц	0,65
Минимальный класс по прочности	C ²⁰ ₂₅
Минимальный расход цемента, кг/м ³	260

В проводимых исследованиях были запро-ектированы составы бетона под определен-ные классы бетона по прочности (C¹⁶₂₀–C²⁵₃₇) с использованием программы ВТК-коррозия. Исходные данные: портландцемент марок 400 и 500 (ОАО «Красносельскстройматериалы»); удельная поверхность 320 м²/кг; плотность це-мента 3070 кг/м³; нормальная густота 26 %; содержание C₃S = 56 %; содержание СаО в це-менте 0,62 доли ед.; мелкий заполнитель – есте-ственный песок с модулем крупности 2,5; круп-ный заполнитель – гранитный щебень фрак-ции 5–20.

Определили требуемое обратное эффек-тивное сопротивление карбонизации в бетоне $R_{\text{NAC},0}^{-1}$ (с использованием (8)) для железобетон-ных конструкций класса XC1 по условиям экс-плуатации на период 50 лет для различных толщин защитного слоя (20, 25, 30, 35 мм) при концентрациях углекислого газа 0,00197 кг/м³ (1000 ppm) (табл. 5) и 0,00138 кг/м³ (700 ppm) (табл. 6). С использованием функции состоя-ния (2) в среде MATHEMATICA выполнили

вероятностное моделирование с учетом дан-ных, представленных в табл. 5.

Рекомендуемые составы бетона без добавок, соответствующие толщинам защитного слоя 20, 25, 30, 35 мм, для железобетонных конструкций класса XC1 по условиям эксплуатации на пери-од 50 лет при различных концентрациях угле-кислого газа представлены в табл. 7, 8, а с до-бавкой-пластификатором С-3 при различных концентрациях углекислого газа – в табл. 9, 10.

Запроектированы составы бетона с добавкой-пластификатором С-3 под определенные классы бетона по прочности на сжатие (C¹⁶₂₀–C²⁵₃₀) с использованием программы ВТК-коррозия. Исходные данные: портландцемент марок 400 и 500 (ОАО «Красносельскстройматериалы»); удельная поверхность 320 м²/кг; плотность це-мента 3070 кг/м³; нормальная густота 26 %; со-держание C₃S = 56 %; мелкий заполнитель – естественный песок с модулем крупности 2,5; крупный заполнитель – гранитный щебень фрак-ции 5–20; добавка-пластификатор С-3 – 0,6 % от массы цемента.

Требуемое обратное эффективное сопротивление карбонизации в бетоне при соблюдении нормируемого индекса надежности ($\beta = 1,50$) для железобетонных конструкций класса XC1 на период 50 лет при концентрации углекислого газа 0,00197 кг/м³

Required reverse efficient resistance of carbonation in concrete while observing specified reliability index ($\beta = 1.50$) in respect of reinforced concrete structures of XC1 Class for the period of 50 years with carbon dioxide gas concentration of 0.00197 kg/m³

Наименование базисной переменной	Значение параметра для класса XC1			
Толщина защитного слоя бетона a , мм	20	25	30	35
Требуемое обратное эффективное сопротивление карбонизации в бетоне $R_{\text{NAC},0}^{-1}$, м ² /с/(кг CO ₂ /м ³)	255	400	580	777
Время ухода за бетоном t_c , день	1			
Относительная влажность воздуха окружающей среды RH_{real} , %	46			
Минимальная a_{RH} и максимальная b_{RH} влажность воздуха в помещении, %	30, 60			
Индекс надежности β	1,51	1,52	1,51	1,51

Таблица 6

Требуемое обратное эффективное сопротивление карбонизации в бетоне при соблюдении нормируемого индекса надежности ($\beta = 1,5$) для железобетонных конструкций класса XC1 на период 50 лет при концентрации углекислого газа $0,00138 \text{ кг/м}^3$

Required reverse efficient resistance of carbonation in concrete while observing specified reliability index ($\beta = 1.50$) in respect of reinforced concrete structures of XC1 Class for the period of 50 years with carbon dioxide gas concentration of 0.00138 kg/m^3

Наименование базисной переменной	Значение параметра для класса XC1			
Толщина защитного слоя бетона a , мм	20	25	30	35
Требуемое обратное эффективное сопротивление карбонизации в бетоне $R_{\text{NAC},0}^{-1}$, $\text{м}^2/\text{с}/(\text{кг CO}_2/\text{м}^3)$	350	555	798	1066
Время ухода за бетоном t_c , день	1			
Относительная влажность воздуха окружающей среды RH_{real} , %	46			
Минимальная a_{RH} и максимальная b_{RH} влажность воздуха в помещении, %	30, 60			
Индекс надежности β	1,54	1,51	1,50	1,55

Таблица 7

Составы бетона без добавок и значения $R_{\text{NAC},0}^{-1}$ для железобетонных конструкций класса XC1 по условиям эксплуатации на период 50 лет при концентрации углекислого газа $0,00197 \text{ кг/м}^3$

Composition of concrete without additives and values $R_{\text{NAC},0}^{-1}$ for reinforced concrete structures of XC1 Class according to operational conditions for the period of 50 years with carbon dioxide gas concentration of 0.00197 kg/m^3

Наименование базисной переменной	Значение параметра для класса XC1			
Толщина защитного слоя бетона a , мм	20	25	30	35
Требуемое обратное эффективное сопротивление карбонизации в бетоне $R_{\text{NAC},0}^{-1}$, $\text{м}^2/\text{с}/(\text{кг CO}_2/\text{м}^3)$	255	400	580	775
Полученное обратное эффективное сопротивление карбонизации в бетоне $R_{\text{NAC},0}^{-1}$, $\text{м}^2/\text{с}/(\text{кг CO}_2/\text{м}^3)$	253	395	561	750
Эффективный коэффициент диффузии для бетона D_{eff} , $\text{м}^2/\text{с}$	$1,19 \cdot 10^{-9}$	$1,79 \cdot 10^{-9}$	$2,09 \cdot 10^{-9}$	$2,30 \cdot 10^{-9}$
Подобранный класс бетона	$C^{30}/_{37}$	$C^{22}/_{27,5}$	$C^{20}/_{25}$	$C^{18}/_{22,5}$
Водоцементное отношение В/Ц	0,40	0,42	0,45	0,50
Масса цемента m_c для марки цемента М400, кг	386	397	347	295
Индекс надежности β	1,56	1,56	1,64	1,62
Расчетная ожидаемая прочность бетона R_{28} для полученного класса бетона, МПа	47,5	35,1	32,1	28,9
Требуемая прочность бетона на сжатие R_{28} для класса бетона $C^{20}/_{25}$	32,2			

В табл. 4 представлены предельные значения параметров бетонной смеси, где максимальное водоцементное отношение для класса XC1 по эксплуатации составляет 0,65. Для подобранных при исследовании составов бетона получены В/Ц в пределах от 0,371 до 0,550. Согласно требованиям EN 206:2013 [5], для бетона класса XC1 по эксплуатации минимальный расход цемента составляет 260 кг/м^3 , а в подобранных составах бетона расход цемента коле-

бался в пределах $268\text{--}530 \text{ кг/м}^3$. В [5] минимальный класс по прочности на сжатие для класса XC1 по условиям эксплуатации составляет $C^{20}/_{25}$, а для подобранных составов бетона получены классы по прочности на сжатие от $C^{16}/_{20}$ до $C^{30}/_{37}$ в зависимости от толщины защитного слоя.

Рассчитав составы бетона под определенные классы бетона по прочности ($C^{16}/_{20}\text{--}C^{30}/_{37}$), получаем рекомендуемые показатели по классу

бетона по прочности и толщину защитного слоя. В европейских нормах содержатся требования, определяющие максимальное В/Ц, минимальное содержание цемента и минимальный класс бетона по прочности, который должен соответствовать классу XC1 по условиям эксплуатации. Однако обоснования данных требований отсутствуют. В связи с этим пред-

принята попытка получить научное обоснование требований, содержащихся в европейских нормах, исходя из класса по условиям эксплуатации железобетонных конструкций. Для решения данной задачи использовали вероятностное моделирование глубины карбонизации бетона с учетом рассчитанного состава бетона по программе ВТК-коррозия.

Таблица 8

Составы бетона без добавок и значения $R_{NAC,0}^{-1}$ для железобетонных конструкций класса XC1 по условиям эксплуатации на период 50 лет при концентрации углекислого газа 0,00138 кг/м³

Composition of concrete without additives and values $R_{NAC,0}^{-1}$ for reinforced concrete structures of XC1 Class according to operational conditions for the period of 50 years with carbon dioxide gas concentration of 0.00138 kg/m³

Наименование базисной переменной	Значение параметра для класса XC1			
Толщина защитного слоя бетона a , мм	20	25	30	35
Требуемое обратное эффективное сопротивление карбонизации в бетоне $R_{NAC,0}^{-1}$, м ² /с/(кг СО ₂ /м ³)	350	555	798	1066
Полученное обратное эффективное сопротивление карбонизации в бетоне $R_{NAC,0}^{-1}$, м ² /с/(кг СО ₂ /м ³)	349	555	777	1066
Подобранный класс бетона	C ²⁸ / ₃₅	C ²⁰ / ₂₅	C ²⁰ / ₂₅	C ¹⁶ / ₂₀
Водоцементное отношение В/Ц	0,41	0,45	0,45	0,55
Марка цемента, масса цемента m_c , кг	M500, 386	M400, 347	M400, 486	M400, 268
Индекс надежности β	1,55	1,51	1,55	1,55
Расчетная ожидаемая прочность R_{28} для полученного класса бетона, МПа	45,0	32,1	32,1	25,7
Требуемая прочность бетона на сжатие R_{28} для класса бетона C ²⁰ / ₂₅	32,2			

Таблица 9

Составы бетона с добавкой-пластификатором С-3 и значения $R_{NAC,0}^{-1}$ для железобетонных конструкций класса XC1 по условиям эксплуатации на период 50 лет при концентрации углекислого газа 0,00197 кг/м³

Composition of concrete with additive (plasticizer C-3) and values $R_{NAC,0}^{-1}$ for reinforced concrete structures of XC1 Class according to operational conditions for the period of 50 years with carbon dioxide gas concentration of 0.00197 kg/m³

Наименование базисной переменной	Значение параметра для класса XC1			
Толщина защитного слоя бетона a , мм	20	25	30	35
Требуемое обратное эффективное сопротивление карбонизации в бетоне $R_{NAC,0}^{-1}$, м ² /с/(кг СО ₂ /м ³)	255	400	580	775
Полученное обратное эффективное сопротивление карбонизации в бетоне $R_{NAC,0}^{-1}$, м ² /с/(кг СО ₂ /м ³)	257	407	580	782
Эффективный коэффициент диффузии для бетона D_{eff} , м ² /с	$9,71 \cdot 10^{-10}$	$1,21 \cdot 10^{-9}$	$2,01 \cdot 10^{-9}$	$2,52 \cdot 10^{-9}$
Подобранный класс бетона	C ²⁰ / ₂₅	C ²⁰ / ₂₅	C ¹⁸ / _{22,5}	C ¹⁸ / _{22,5}
Водоцементное отношение В/Ц	0,36	0,39	0,41	0,47
Масса цемента m_c для марки цемента M400, кг	516	486	466	332
Индекс надежности β	1,52	1,50	1,51	1,53
Расчетная ожидаемая прочность R_{28} для полученного класса бетона, МПа	42,4	38,9	36,5	30,9
Требуемая прочность бетона на сжатие R_{28} для класса бетона C ²⁰ / ₂₅	32,2			

Таблица 10

Составы бетона с добавкой-пластификатором С-3 и значения $R_{NAC,0}^{-1}$ для железобетонных конструкций класса XC1 по условиям эксплуатации на период 50 лет при концентрации углекислого газа 0,00138 кг/м³

Composition of concrete with additive (plasticizer C-3) and values $R_{NAC,0}^{-1}$ for reinforced concrete structures of XC1 Class according to operational conditions for the period of 50 years with carbon dioxide gas concentration of 0.00138 kg/m³

Наименование базисной переменной	Значение параметра для класса XC1			
Толщина защитного слоя бетона a , мм	20	25	30	35
Требуемое обратное эффективное сопротивление карбонизации в бетоне $R_{NAC,0}^{-1}$, м ² /с/(кг СО ₂ /м ³)	350	555	798	1066
Полученное обратное эффективное сопротивление карбонизации в бетоне $R_{NAC,0}^{-1}$, м ² /с/(кг СО ₂ /м ³)	354	557	799	1067
Подобранный класс бетона	C ²⁸ _{/35}	C ²⁵ _{/30}	C ²⁵ _{/30}	C ¹⁸ _{/22,5}
Водоцементное отношение В/Ц	0,38	0,41	0,45	0,48
Марка цемента, масса цемента m_c , кг	M500, 430	M500, 467	M500, 322	M400, 295
Индекс надежности β	1,52	1,51	1,52	1,52
Расчетная ожидаемая прочность R_{28} для полученного класса бетона, МПа	47,5	46,1	40,6	30,2
Требуемая прочность бетона на сжатие R_{28} для класса бетона C ²⁰ _{/25}	32,2			

В табл. 5–10 представлены подтверждения предельных значений В/Ц и расхода цемента на 1 м³ бетона согласно EN 206:2013 [5]: составы бетонов не превышают максимальное В/Ц = 0,65 и минимальный расход цемента на 1 м³ бетона для минимального класса бетона по прочности на сжатие C²⁰_{/25} исходя из требуемой толщины защитного слоя бетона. Полученные составы бетона удовлетворяют нормируемому индексу надежности $\beta = 1,50$ для требуемых толщин защитного слоя бетона.

При подборе составов бетона для класса XC1 по условиям эксплуатации получены составы бетона, соответствующие классам C¹⁶_{/20}–C³⁰_{/37}, и расчетная прочность в пределах 25,7–47,5 МПа в зависимости от требуемой толщины защитного слоя бетона (20, 25, 30, 35 мм) и условий эксплуатации (т. е. концентрации СО₂ в помещении от 0,00138 до 0,00197 кг/м³). Чем меньше толщина защитного слоя бетона, тем прочность бетона должна быть больше и меньше В/Ц для того, чтобы обеспечить требования проницаемости.

ВЫВОДЫ

1. Данные, полученные по представленной вероятностной модели карбонизации бетона, можно использовать на практике, чтобы оценить длительность эксплуатации железобетонной конструкции.

2. Рассчитаны обратные эффективные сопротивления карбонизации бетона для различных составов бетона. Получены требуемые обратные эффективные сопротивления карбонизации бетона $R_{NAC,0}^{-1}$ для класса XC1 по условиям эксплуатации для толщин защитного слоя 20–35 мм, удовлетворяющие нормируемому индексу надежности $\beta = 1,5$ для 50 лет эксплуатации, что позволяет запроектировать составы бетона под определенные классы бетона по прочности.

3. Разработан метод расчета глубины карбонизации бетона на основе вероятностных методов оценки надежности и представлен алгоритм расчета глубины карбонизации бетона железобетонных конструкций класса XC1 по условиям эксплуатации, который показал, что необходимо назначать класс бетона по прочности на сжатие в зависимости от требуемой толщины защитного слоя бетона, условий и сроков эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бетонные и железобетонные конструкции: СНБ 5.03.01–2002. Введ. 01.07.2003. Минск: Минстройархитектуры, 2003. 144 с.
2. Еврокод. Основы проектирования строительных конструкций: ТКП ЕН 1990–2011. Введ. 01.07.2012. Минск: Минстройархитектуры, 2012. 70 с.
3. Надежность строительных конструкций. Общие принципы: СТБ ISO 2394–2007. Введ. 01.07.2008. Минск: Госстандарт Республики Беларусь, 2008. 69 с.

4. Возведение бетонных и железобетонных конструкций: СТБ EN 13670–2012. Введ. 01.01.2013. Минск: Госстандарт Республики Беларусь, 2013. 54 с.
5. European Standard. Concrete – Specification, Performance, Production and Conformity: EN 206:2013 (E). Brussels: European Committee for Standardization, 2013. 93 p.
6. DuraCrete (1998) Modelling of Degradation, DuraCrete – Probabilistic Performance Based Durability Design of Concrete Structures. EU – Brite EuRam III, Contract BRPR-CT95–0132, Project BE95–1347/R4–5, December 1998. 174 p.
7. Gehlen, C. Probabilistische Lebensdauerbemessung von Stahlbetonbauwerken – Zuverlässigkeitsbetrachtungen zur Wirksamen Vermeidung von Bewehrungskorrosion / C. Gehlen; Aachen, Techn. Hochschule. Berlin: Beuth-Verlag, 2000. 106 p. (Deutscher Ausschuss für Stahlbeton; 510).
8. Конструкции и изделия бетонные и железобетонные сборные. Общие технические требования: ГОСТ 13015.0–83. Введ. 01.01.1984. М.: Госстандарт СССР, 1983. 14 с.
9. Probabilistic Model Code [Electronic Resource] // JCSS Joint Committee of Structural Safety, 2001. Mode of Access http://www.jcss.byg.dtu.dk/Publications/Probabilistic_Model_Code.aspx. Date of Access: 15.03.2009.
10. Eurocode 2. Design of Concrete Structures. Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings: EN 1992-1-1:2004 (E). Brussels: European Committee for Standardization, 2004. 225 p.
11. Deutsche Norm. Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 1: Bemessung und Konstruktion: DIN 1045-1:2001. Berlin: Deutsches Institut für Normung, 2001. 183 p.
12. DARTS – Durable and Reliable Tunnel Structures: Deterioration Modelling, European Commission, Growths 2000, Contract G1RD-CT-2000-00467, Project GrDI-25633, 2004.
13. Bulletin Comité Euro-International du Béton (CEB) No 238: New Approach to Durability Design – an Example for Carbonation Induced Corrosion. Lausanne, 1997. 152 p.
14. LIFECON: Prototype of a Condition Assessment Protocol, Deliverable D3/1, Working Party 3, Project G1RD-CT-2000-00378, 2003. 169 p.
15. Голшани, М. Структура бетона с добавками ингибиторов коррозии стали и его защитные свойства по отношению к стальной арматуре / М. Голшани. Минск: БНТУ, 2012. 199 с.
16. Бабицкий, В. В. Структура и коррозионная стойкость бетона и железобетона / В. В. Бабицкий. Минск: БНТУ, 2005. 540 с.
2. ТКР EN 1990–2011 Eurocode. Basis of Structural Design. Minsk: Publishing House of Ministry of Architecture and Construction of Belarus, 2012. 70 (in Russian).
3. STB [Standards of the Republic of Belarus] ISO 2394–2007. Reliability of Construction Structures. General Principles. Minsk, State Committee for Standardization of the Republic of Belarus, 2008. 69 (in Russian).
4. STB [Standards of the Republic of Belarus] EN 13670–2012. Construction of Concrete and Reinforced Concrete Structures. Minsk, State Committee for Standardization of the Republic of Belarus, 2013. 54 (in Russian).
5. EN 206:2013 (E). European Standard. Concrete – Specification, Performance, Production and Conformity. Brussels, European Committee for Standardization, 2013. 93.
6. DuraCrete (1998) Modelling of Degradation, DuraCrete – Probabilistic Performance Based Durability Design of Concrete Structures. EU – Brite EuRam III, Contract BRPR-CT95–0132, Project BE95–1347/R4–5, December 1998. 174.
7. Gehlen C. (2000) Probabilistische Lebensdauerbemessung von Stahlbetonbauwerken – Zuverlässigkeitsbetrachtungen zur Wirksamen Vermeidung von Bewehrungskorrosion. *Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton*, Heft 510. Berlin, Beuth-Verlag. 106 (in German).
8. GOST [State Standard] 13015.0–83. Precast Concrete and Reinforced Concrete Structures and Products. General Technical Requirements. Moscow: State Committee for Standards and Product Quality Management, 1983. 14 (in Russian).
9. Probabilistic Model Code. *JCSS Joint Committee of Structural Safety*. 2001. Available at: http://www.jcss.byg.dtu.dk/Publications/Probabilistic_Model_Code.aspx. (Accessed 15 March 2009).
10. EN 1992-1-1:2004 (E). Eurocode 2. Design of Concrete Structures. Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings. Brussels: European Committee for Standardization, 2004. 225.
11. DIN 1045-1:2001. Deutsche Norm. Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 1: Bemessung und Konstruktion. Berlin: Deutsches Institut für Normung, 2001. 183.
12. DARTS – Durable and Reliable Tunnel Structures: Deterioration Modelling, European Commission, Growths 2000, Contract G1RD-CT-2000-00467, Project GrDI-25633, 2004.
13. Comité Euro-International du Béton (CEB). (1997). *Bulletin CEB. New Approach to Durability Design – an Example for Carbonation Induced Corrosion* (238). Lausanne, Switzerland. 152.
14. LIFECON: Prototype of a Condition Assessment Protocol, Deliverable D3/1, Working Party 3, Project G1RD-CT-2000-00378, 2003. 169 p.
15. Golshani M. (2012) *Structure of Concrete with Steel Corrosion Inhibitory Additives and its Protective Properties in Regard to Reinforcement Steel*. Minsk: BNTU [Belarusian National Technical University]. 199 (in Russian).
16. Babitskiy V. V. (2005) *Structure and Corrosion Resistance of Concrete and Reinforced Concrete*. Minsk: BNTU [Belarusian National Technical University]. 540 (in Russian).

Поступила 09.02.2016
Подписана в печать 19.04.2016
Опубликована онлайн 29.11.2016

REFERENCES

1. SNB 5.03.01–2002 [Construction Norms of the Republic of Belarus]. Concrete and Reinforced Concrete Structures. Minsk: Publishing House of Ministry of Architecture and Construction of Belarus, 2003. 144 (in Russian).

Received: 09.02.2016
Accepted: 19.04.2016
Published online: 29.11.2016

DOI: 10.21122/2227-1031-2016-15-6-469-475

УДК 624.9

Некоторые особенности учета морального износа при выборе вариантов строительства, ремонта или реконструкции зданий

Докт. техн. наук С. Н. Осипов¹⁾, Д. А. Поздняков¹⁾¹⁾ГП «Институт жилища – НИПТИС имени Атаева С. С.» (Минск, Республика Беларусь)© Белорусский национальный технический университет, 2016
Belarusian National Technical University, 2016

Реферат. В XXI в. в понятие морального износа жилья входит не только ухудшение с течением времени внешнего вида строительных элементов, но и ускоренная смена моды на внутренний вид и быстрое повышение технического уровня оборудования жилых помещений. Поэтому если в зданиях серий 1–335, 1–335А и 1–464А, построенных в Минске с 1957 по 1975 г., при эксплуатации до 2005–2006 гг. средний уровень физического износа составлял 25–29 %, а моральный износ – более 40 %, то в XXI в. скорость морального износа существенно увеличилась. Эта ситуация требует специальных исследований. Действующие в настоящее время высокие ставки рефинансирования привели к необходимости учета первоначальных затрат и уровней ремонтпригодности, от которых зависит выбор варианта строительства, ремонта или реконструкции зданий. Для упорядочения такого выбора предложена классификация ремонтпригодности основных элементов жилых зданий и помещений. При этом учитываются технологичность ремонта и технического обслуживания, а также контролируемость, доступность, легкосъемность, заменяемость и взаимозаменяемость строительных элементов и технических устройств. В статье приведены номограммы, позволяющие облегчить практические расчеты по определению экономически выгодного промежутка времени эксплуатации элемента перед его заменой на новый при различных ставках рефинансирования, а также для сравнения относительных первоначальных затрат в зависимости от срока службы.

Ключевые слова: моральный износ, физический износ, ремонт, реконструкция, жилые здания, строительные элементы, учет рефинансирования, ремонтпригодность, время эксплуатации

Для цитирования: Осипов, С. Н. Некоторые особенности учета морального износа при выборе вариантов строительства, ремонта или реконструкции зданий / С. Н. Осипов, Д. А. Поздняков // *Наука и техника*. 2016. Т. 15, № 6. С. 469–475

Several Specific Features in Record Keeping of Functional Moral Depreciation while Selecting Variant for Construction, Repair or Reconstruction of Buildings

S. N. Osipov¹⁾, D. A. Pozdnyakov¹⁾¹⁾UE “Institute of Housing – NIPTIS named after Ataev S. S.” (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. In the XXI century moral depreciation concept comprises not only deterioration of outside appearance of construction elements in the course of time but accelerated fashion changes in respect of interior design and rapid increase in technical level for residence buildings. For this reason if average rate of building dilapidation in the buildings of series 1–335, 1–335А and 1–464А constructed in Minsk within the period of 1957–1975 and being operated till 2005–2006 has constituted 25–29 % and their moral depreciation has been equal to more than 40 % then rate of the moral depreciation has significantly increased in the XXI century. Such situation requires execution of special investigations. High operating rates of refinancing have led to the necessity for record keeping of initial expenses and repairability levels because selection of building construction, repair or

Адрес для переписки

Осипов Сергей Николаевич
ГП «Институт жилища – НИПТИС имени Атаева С. С.»
ул. Ф. Скорины, 15б,
220114, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 263-81-91
up-niptis@rambler.ru

Address for correspondence

Osipov Sergey N.
UE “Institute of Housing – NIPTIS named after Ataev S. S.”
15b F. Skoriny str.,
220114, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 263-81-91
up-niptis@rambler.ru

reconstruction variant depends on these parameters. Repairability classification of main elements of residence buildings and premises has been proposed for regulation of such selection procedure. In this case it is recommended to take into account technological effectiveness of repair and technical service, verifiability, accessibility, easy dismountability, substitutability and interchangeability of construction elements and technical devices. The paper presents nomograms that permit to make easier practical calculations on determination of cost-efficient time period for operation of the element prior to its substitution at various refinancing rates and also for comparison of relative initial expenses according to time service.

Keywords: moral depreciation, building dilapidation, repair, reconstruction, residence buildings, construction elements, record keeping of refinancing, repairability, in-service time

For citation: Osipov S. N., Pozdniakov D. A. (2016) Several Specific Features in Record Keeping of Functional Moral Depreciation while Selecting Variant for Construction, Repair or Reconstruction of Buildings. *Science & Technique*. 15 (6), 469–475 (in Russian)

В нынешнее время зачастую моральный износ зданий, особенно старой постройки, существенно превышает физический износ. Так, в Республике Беларусь по состоянию на начало XXI в. в зданиях серий 1–335, 1–335А и 1–464А, построенных в период с 1957 по 1975 г., физический износ не превышал 25–29 %, а моральный износ составлял более 40 % [1, с. 30]. Восстановительная стоимость морального износа жилых помещений стремительно возрастает особенно последние 20 лет в связи с ускорением темпов научно-технического прогресса, рекламы, торговли и т. п. Поэтому основные требования к планировке, оформлению, оборудованию квартир изменяются примерно каждые 10 лет. Следовательно, необходимо уже при проектировании новых жилых зданий учитывать рост влияния морального износа на величину общего износа.

Следует отметить, что если моральный износ [2, с. 280] – это «несоответствие основных параметров здания, определяющих условия проживания или производства, объем и качество предоставленных услуг, современным требованиям», то физический износ [2, с. 560] – это «ухудшение технических и связанных с ними других показателей эксплуатационных качеств здания, его отдельных элементов на определенный момент времени». Однако оценка величин и видов износов является только первым этапом планирования различных вариантов ремонта здания и его элементов, выбор которых зависит от уровней износа и ремонтнопригодности, характеризуемой [2, с. 445] приспособленностью изделия к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов и к устранению их последствий путем проведения ремонтов и технического обслуживания. Рекомендуются использовать два основных по-

казателя ремонтнопригодности здания: вероятность восстановления здания или его элементов в заданное время и среднее время восстановления [2, с. 445]. Сегодня при проектировании обычно определяется только среднее время восстановления, т. е. продолжительность ремонта.

Как отмечает В. М. Пилипенко [1, с. 174–176], моральный износ в процентах от стоимости здания с учетом наличия или отсутствия основных видов благоустройства, инженерного оборудования, геометрических параметров помещений и качества отделки можно определить по формуле [3]

$$J_m = 100(k_h k_f k_r k_0 k_{in} - 1), \quad (1)$$

где k_h – коэффициент, зависящий от высоты помещений существующего здания; k_f – то же, зависящий от средней площади квартиры существующего здания; k_r – то же, зависящий от удельных расходов теплоты на отопление и вентиляцию жилого здания; k_0 – то же, зависящий от отделки фасадов существующего здания; k_{in} – то же, зависящий от обеспеченности существующего здания инженерным оборудованием, определяется как сумма показателей по формуле [3]

$$k_{in} = 1 + \sum_{i=1}^n p_i, \quad (2)$$

p_i – i -й показатель, значение которого изменяется от (–0,04) при электроотоплении до 0,10 при отсутствии водопровода или канализации.

В перечень показателей p_i [1, с. 176] входят 18 наименований, в том числе отсутствие водопровода и канализации, что в наше время для многоквартирных зданий вообще неприемлемо, а пригодно только для дачных строений

и то с желательным использованием современных передвижных устройств. Ни один из приведенных показателей не зависит от времени и, следовательно, речь не идет об износе, а просто моральный износ до сих пор является показателем комфортности оцениваемого жилья.

Вопрос учета будущего морального износа изделия при выборе вариантов строительства, ремонта или реконструкции здания весьма сложный и, в частности, зависит от изменения не только технического уровня строительных элементов и конструкций, но также и от вкусов жителей, которые, в свою очередь, зависят от образа жизни и рекламы. Все это определенным образом связано с большим расширением ценовых диапазонов на строительные элементы. Так, за последние 20 лет развитие капитализма в странах бывшего СССР привело к огромному разнообразию предлагаемых на рынке строительных элементов, к которым, в частности, можно отнести даже смесители холодной и горячей воды для ванн (душевых) установок. Разнообразие этих смесителей составляет десятки видов стоимостью 30–150 и более долларов США, что при строительстве, ремонте и реконструкции большинства жилых зданий требует учета «экономических сроков» нормированной, т. е. обозначенной производителем, службы. При этом выясняется интересное обстоятельство, что срок службы почти всех смесителей обозначен производителем в 10 лет, а гарантия дается всего на один год. Следовательно, за остальные девять лет службы смесителя производитель никакой ответственности не несет. Так что же определяет данный срок службы?

Бурный рост нанотехнологии, электроники и всемирной паутины позволяет надеяться, что в ближайшие 10 лет в новых и даже старых домах уже не придется крутить краны холодной и горячей воды для принятия душа, а можно будет набрать на дисплее (даже дистанционно) необходимую температуру и в нужный момент нажать кнопки пуска и интенсивности водяного потока. Уже теперь строители разделяют строящиеся жилые дома на следующие три категории комфортности и стоимости [4, п. 3.8]: жилой дом повышенной комфортности и улучшенной планировки, или элит-класса; жилой

дом типовых потребительских качеств с улучшенной планировкой, или комфорт-класса; жилой дом типовых потребительских качеств, или эконом-класса. Все перечисленные категории существенно различаются оборудованием, планировкой, отделкой. Причем строителям наиболее выгодно сооружение дорогостоящих зданий, однако острая необходимость возникает в строительстве массового, относительно дешевого жилья. Поэтому важнейшими вопросами являются учет сочетания современности, сроков службы и ремонтпригодности выбираемых элементов строительных конструкций и инженерных систем зданий при учете капитализации первоначальной стоимости. Рассмотрим вопросы, касающиеся:

- разработки способа использования оптимизированных по ремонтпригодности групп элементов строительных конструкций и инженерных систем зданий;
- сроков службы элементов строительных конструкций в сочетании с особенностями физического и морального износа, ремонтпригодностью и стоимостью с учетом капитализации первоначальных затрат на элементы строительных конструкций и инженерных систем жизнеобеспечения;
- минимизации стоимости первоначальных затрат на строительство 1 м² жилья.

Для решения поставленных вопросов при строительстве, ремонте и реконструкции жилых зданий необходимо:

- определить принадлежность элементов зданий к одной из групп ремонтпригодности исходя из их сроков службы или замены;
- предусмотреть несущие силовые элементы, рассчитанные с нормативным запасом прочности на весь срок службы здания;
- в качестве элементов здания, распределенных по группам ремонтпригодности, использовать элементы с наиболее подходящей стоимостью в группе;
- сроки замены элементов строительных конструкций и инженерных систем определять по величине физического и морального износа с учетом времени достижения суммы капитализации от сэкономленных первоначальных затрат стоимости замены элементов строительных конструкций и инженерных систем в соот-

ветствии с номограммой, которую строят при помощи выражения

$$\tau = \frac{-\ln\left(\frac{a_2}{a_1} - 1\right)}{\ln(1 + \varphi)}, \quad (3)$$

где a_1 – стоимость более дешевого элемента строительного устройства или инженерной системы с меньшим сроком службы и стоимостью с учетом установки, руб.; a_2 – то же для элемента с большим сроком службы и стоимостью с учетом установки, руб.; φ – ставка рефинансирования, доли ед.

Для решения указанных задач предлагается способ строительства и реконструкции зданий, использующий принцип комплексной оценки эффективности применения наиболее дешевых ремонтнопригодных элементов строительных конструкций и инженерных систем с учетом капитализации первоначальных затрат. В первую очередь следует определить необходимые уровни ремонтнопригодности различных элементов здания. Это можно произвести по нескольким принципам [5]. В данном случае важны как ремонтная технологичность, так и технологичность технического обслуживания, в которые входят контролируемость объекта, доступность его частей, их легкосъемность (заменяемость) и взаимозаменяемость.

Исходя из конструкционных особенностей и оборудования здания, его основные элементы, с точки зрения ремонтнопригодности и необходимых сроков замены, можно условно разделить на следующие группы:

1) основные несущие силовые элементы здания, параметры которых должны выбираться исходя из полного срока службы здания с учетом износа со временем, контролируемости и частичного (точечного) ремонта. К таковым можно отнести фундаменты, несущие стены и каркас, другие подобные элементы;

2) опирающиеся на основные несущие конструкции, ограждающие и межэтажные элементы (кровля, чердачные конструкции, межэтажные перекрытия и т. п.), как правило, рассчитанные на более короткие по сравнению с конструкциями 1-й группы сроки службы, должны выбираться с обязательным учетом пригодности и заменяемости;

3) внутридомовые перегородки и аналогичные элементы конструкции здания, при замене которых аналогично предыдущим группам может возникнуть необходимость в дорогостоящем отселении жильцов;

4) внутридомовые системы инженерного оборудования (теплогазоснабжение, горячее и холодное водоснабжение, канализация, вентиляция), ремонт и замена которых не требуют отселения жильцов, должны обладать высоким уровнем ремонтнопригодности, который в последние годы повышается благодаря новым схемам прокладки, когда межэтажные перекрытия пронизывают только стояки;

5) все поверхностные элементы строительных конструкций (наружные и внутренние), подвергаемые регулярному периодическому ремонту (покраска, замена обоев и т. п.), а также арматура инженерных систем (краны, разъемные соединения, осветительная аппаратура, электророзетки, выключатели и т. п.).

Из приведенного перечня для 2–5-й групп элементов за счет оптимизации их ремонтнопригодности и заменяемости, основанной на учете их экономических сроков замены, возможна существенная моральная модернизация с учетом экономии их первоначальной стоимости. Следует отметить достаточную определенность приведенных пяти групп ремонтнопригодности основных элементов зданий, которые по содержанию соответствуют нормативным документам [6, 7] и носят вполне определенный характер с перечнем конкретных элементов зданий.

Известно немало литературных источников, в которых по-разному трактуются надежность и износ строительных элементов и их частей разного уровня с учетом восстановительной стоимости. К таковым источникам в первую очередь следует отнести [7, 8], а также 11 частей международного стандарта ISO 15686, в котором первые три части [9–11] представляют интерес для рассматриваемых вопросов. Как пример, в [7] приведены 69 таблиц по признакам физического износа конструкций и элементов жилых зданий, а также 32 кривые их физического износа. Кроме того, там же представлены таблицы (Приложения Г и Д), в которых используются стоимостные параметры (восстановительная стоимость). Следовательно, при оценке величин износа отдельных элементов

(конструктивных и технических), наряду с показателями физического износа, используются величины (абсолютные и относительные) восстановительной стоимости. Однако до сих пор нет четких нормативов по оценке морального износа жилых зданий.

При капитализации затрат стоимость устройства или системы с учетом монтажа, пуска в эксплуатацию и средних расходов на текущий ремонт в течение срока службы при постоянной ставке рефинансирования составляет

$$c = a(1 + \varphi)^{\tau}, \quad (4)$$

где a – стоимость устройства или системы с учетом монтажа и средних расходов на текущий ремонт в момент пуска в эксплуатацию, руб.; φ – ставка рефинансирования, постоянная в течение времени τ , доли ед.; τ – время эксплуатации, лет.

Благодаря этому выражению становится возможным оценить экономическую эффективность выбора строительных конструкций и элементов инженерных систем, которую можно определить исходя из первоначальных затрат и сроков службы. Используя приведенную выше формулу так называемых сложных процентов, легко получить следующее выражение:

$$\frac{c_2 - c_1}{a_1} = \left(\frac{a_2}{a_1} - 1 \right) (1 + \varphi)^{\tau} = K, \quad (5)$$

где c_2 – стоимость более дорогого элемента строительного устройства или инженерной системы с большим сроком службы с учетом установки и пуска через τ лет эксплуатации, руб.; a_2 – то же в момент пуска, руб.; c_1 – то же более дешевого элемента строительного устройства или инженерной системы с меньшим сроком службы с учетом установки и пуска через τ лет эксплуатации, руб.; a_1 – то же в момент пуска, руб.; K – коэффициент, характеризующий относительное изменение разности стоимостей более дорогого и дешевого элементов с учетом капитализации первоначальных затрат.

Если ставка рефинансирования и стоимость обслуживания элемента неравномерно изменяются с годами, то формула (5) усложняется. Из приведенного выражения видно, что при

$K = 1$ разность между затратами на более дорогой и более дешевый элементы к моменту эксплуатации τ достигает стоимости установки нового более дешевого элемента. Если к этому времени вследствие инфляции денежной единицы стоимость установки нового, более дешевого элемента возрастет на φ %, то вместо $K = 1$ следует принимать $K + \varphi$, где φ – в долях ед.

В простом случае, когда $K = 1$, легко получить

$$\tau = -\frac{\ln\left(\frac{a_2}{a_1} - 1\right)}{\ln(1 + \varphi)} \quad \text{при } 1 < \frac{a_2}{a_1} \leq 2. \quad (6)$$

Сущность предлагаемого метода уменьшения первоначальных затрат при строительстве, ремонте и реконструкции зданий поясняется при помощи номограмм на рис. 1, 2.

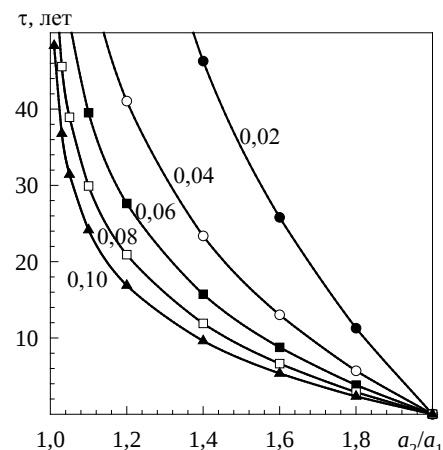


Рис. 1. Номограмма для определения промежутка времени эксплуатации элемента при замене его на новый: цифры, стоящие у кривых, – ставки рефинансирования

Fig. 1. Nomogram for determination of operational time interval for element when it is required to replace it by a new one: digits close to curves indicate refinancing rate

Используя выражение (6) или номограмму на рис. 1, вытекающую из (6), определяется такой промежуток времени эксплуатации τ более дорогого элемента, чтобы стала выгодной замена более дешевого элемента при ставке рефинансирования φ . Промежуток времени τ также можно найти по номограмме рис. 2, построенной для $\varphi = 0,10$ (10 %) и $0,06$ (6 %).

В качестве примера можно определить целесообразность первоначальной установки в системе внутреннего горячего водоснабжения

запорной арматуры, изготовленной из латуни (нормативный срок эксплуатации 15 лет [6, 7]) или чугуна (нормативный срок эксплуатации 10 лет [6]) при ставке рефинансирования 10 % ($\varphi = 0,10$). В случае $a_2/a_1 = 1,4$ значение $a_2/a_1 - 1 = 0,4$, и расчет и номограмма дают величину $\tau \approx 10$ лет.

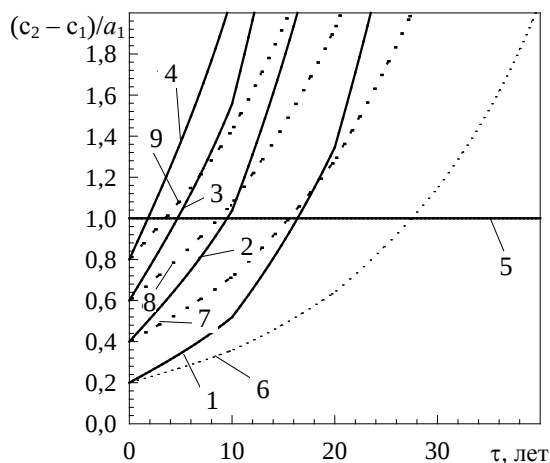


Рис. 2. Номограмма для сравнения относительных затрат в зависимости от срока службы:

кривые 1–4 – при $\varphi = 0,10$;
6–9 – при $\varphi = 0,06$; линия 5 – при $K = 1$

Fig. 2. Nomogram for comparison of relative expenses depending on life cycle:
curves 1–4 – at $\varphi = 0,10$;
6–9 – at $\varphi = 0,06$; line 5 – at $K = 1$

Таким образом, через 10 лет эксплуатации общие затраты на более дорогой кран позволяют поставить новый чугунный с новым сроком службы в 10 лет. Первоначальное использование чугунных кранов дает возможность сократить расходы на запорную арматуру примерно на 30 %. При росте K от 1,0 до 1,4 и более за счет увеличения стоимости чугунной запорной арматуры установка латунных кранов может оказаться экономически целесообразной.

Заметное ускорение морального износа жилья в XXI в. требует изменения устоявшихся взглядов на выбор условий, времени и вида ремонта, что повлечет за собой корректировку экономической оценки таких ремонтов. Последнее также может повлиять на выбор планировки жилых помещений, элементов строительных устройств и инженерных систем. Возможно, распространение вероятностного подхода к оценке морального износа, аналогичного [12, 13], позволит разработать новую методику выбора эле-

ментов строительных устройств и инженерных сооружений.

Особую проблему составляет оценка надежности определения морального износа жилых зданий и помещений при рыночном хозяйствовании, решение которой может находиться в направлении синтеза надежности и экономичности, прекрасно описанного в монографии Н. Б. Карницкого [14, с. 36–70]. При этом уровни надежности оценки морального износа жилых зданий и помещений могут быть существенно ниже по сравнению с нормируемой вероятностью бездефективной работы или расчетной надежности энергосистемы в СНГ в размере 0,996 [14, с. 38].

В связи с дальнейшим развитием рыночных отношений учет морального (качественного) уровня и износа при выборе вариантов строительства, ремонта и реконструкции зданий приобретает все большее значение и требует серьезного научного исследования.

ВЫВОДЫ

1. Предложена классификация ремонтпригодности основных элементов здания с учетом технологичности их ремонта и технического обслуживания, а также контролируемости, доступности, легкосъемности, заменяемости и взаимозаменяемости.

2. Использование вероятностного подхода к оценке морального износа элементов строительных устройств и инженерных сооружений, аналогичных оценке физического износа, может внести в определение величины морального износа не только субъективное мнение экспертов, но и какие-то количественные оценки.

3. Учитывая повышение удельного веса и скорости роста величины морального износа по сравнению с физическим, особенно для жилых зданий, эта проблема нуждается в более широком и глубоком исследовании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пилипенко, В. М. Комплексная реконструкция индустриальной жилой застройки / В. М. Пилипенко. Минск: Адукацыя і выхаванне, 2007. 280 с.
2. Большой строительный терминологический словарь-справочник. Минск: Минсктиппроект, 2008. 812 с.

3. Методика определения физического износа гражданских зданий. М.: Мин-во коммунального хоз-ва РСФСР, 1970. 39 с.
4. Дома жилые многоквартирные и блокированные: ТКП 45-3.02-230-2010. Минск: Стройтехнорм, 2011. 30 с.
5. Мартынов, Г. К. Стандартизация терминов теории надежности / Г. К. Мартынов, О. Ф. Поплавский. М.: Знание, 1983. С. 49–93.
6. Правила оценки физического износа жилых зданий: ВСН 53–86 (р). М.: Госгражданстрой. Госкомитет по гражд. стр-ву и архит. при Госстрое СССР, 1988. 72 с.
7. Здания и сооружения. Оценка степени физического износа: ТКП 45-1.04-119-2008 (02250). Минск: Минстройархитектуры, 2009. 44 с.
8. Колотилкин, Б. М. Надежность функционирования жилых зданий / Б. М. Колотилкин. М.: Стройиздат, 1989. 370 с.
9. Здания и встроенное недвижимое имущество. Планирование долговечности. Минск: Стройтехнорм, 2011. Ч. 1: Общие принципы и структуры: ISO 15686. 21 с.
10. Здания и встроенное недвижимое имущество. Планирование долговечности. Минск: Стройтехнорм, 2011. Ч. 2: Методы прогнозирования долговечности: ISO 15686. 30 с.
11. Здания и встроенное недвижимое имущество. Планирование долговечности. Минск: Стройтехнорм, 2012. Ч. 3: Контроль и наблюдения: ISO 15686. 62 с.
12. Осипов, С. Н. Об оценке физического износа элементов технических устройств / С. Н. Осипов, Д. А. Поздняков // Наука и техника. 2015. № 2. С. 23–30.
13. Осипов, С. Н. Об оценке физического износа упругопластических элементов зданий / С. Н. Осипов, Д. А. Поздняков // Наука и техника. 2015. № 6. С. 30–36.
14. Карницкий, Н. Б. Синтез надежности и экономичности теплоэнергетического оборудования ТЭС / Н. Б. Карницкий. Минск: ВУЗ-ЮНИТИ, 1999. 224 с.

Поступила 20.01.2016

Подписана в печать 25.03.2016

Опубликована онлайн 29.11.2016

REFERENCES

1. Pilipenko V. M. (2007) *Complex Reconstruction of Industrial and Residential Housing Development*. Minsk, Adukatsiya i Vykhave. 280 (in Russian).
2. *Big Construction Terminological Reference-Dictionary*. Minsk, Publishing House "Minsktiprojekt", 2008. 812 (in Russian).
3. *Methodology for Determination of Physical Wear of Civic Buildings*. Moscow, RSFSR [Russian Soviet Federated Socialist Republic] Ministry of Communal Services, 1970. 39 (in Russian).
4. ТКП 45-3.02-230-2010. Residential Houses for Single Family and as Row House Buildings. Minsk, Publishing House "Stroytekhnorm", 2011. 30 (in Russian).
5. Martynov G. K., Poplavsky O. F. (1983) *Standardization in Terminology of Reliability Theory*. Moscow, Znanie, 49–93 (in Russian).
6. VSN 53–86 (p) [Departmental Building Standards]. Rules on Evaluation of Physical Wear of Residential Buildings. Moscow, Gosgrazhdanstroy, 1988. 72 (in Russian).
7. ТКП 45-1.04-119-2008 (02250). Buildings and Structures. Assessment of Physical Wear Rate. Minsk, Minstroyarkhitektura, 2009. 44 (in Russian).
8. Kolotilkin B. M. (1989) *Reliability in Operation of Residential Buildings*. Moscow, Stroyizdat. 370 (in Russian).
9. *Buildings and Constructed Assets. Planning of Durability. Part 1. General Principles and Structures: ISO 15686*. Minsk, Stroytekhnorm, 2011. 21 (in Russian).
10. *Buildings and Constructed Assets. Planning of Durability. Part 2. Methods for Forecasting of Durability: ISO 15686*. Minsk, Stroytekhnorm, 2011. 30 (in Russian).
11. *Buildings and Constructed Assets. Planning of Durability. Part 3. Control and Observation: ISO 15686*. Minsk, Stroytekhnorm, 2012. 62 (in Russian).
12. Osipov S. N., Pozdniakov D. A. (2015) On Assessment of Physical Wear in Elements of Technical Devices. *Nauka i Tekhnika* [Science and Technique], (2), 23–30 (in Russian).
13. Osipov S. N., Pozdniakov D. A. (2015) On Assessment of Dilapidation in Elasto-Plastic Elements of Buildings. *Nauka i Tekhnika* [Science and Technique], (6), 30–36 (in Russian).
14. Karnitsky N. B. (1999) *Synthesis of Reliability and Economical Efficiency for Heat-Power Equipment of Thermal Power Station*. Minsk, Publishing House "VUZ-UNITI". 224 (in Russian).

Received: 20.01.2016

Accepted: 25.03.2016

Published online: 29.11.2016

Влияние суточных колебаний наружной температуры на микроклимат помещения

Канд. техн. наук, доц. А. Э. Захаревич¹⁾

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

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

Реферат. С использованием численного моделирования процессов теплообмена в отапливаемом помещении выполнено исследование колебаний температуры внутреннего воздуха в обслуживаемой зоне (зоне обитания), вызванных периодическим изменением температуры наружного воздуха. Разработанная и реализованная в виде программы двумерная физико-математическая модель учитывает нестационарный характер сложного сопряженного теплообмена в ограждениях и воздушном пространстве отапливаемых помещений при использовании различных видов отопительных приборов. Модель включает в себя уравнения лучистого теплообмена между внутренними поверхностями, оконными стеклами и окружающей средой. Рассмотрены два вида нагревателей: радиатор и напольное отопление. Нагрузка приборов задана постоянной во времени в соответствии с тепловым балансом, определенным по традиционной методике. Расчеты выполнены для трех комбинаций теплофизических свойств ограждений. Установлены количественные характеристики индуцированных колебаний температуры внутреннего воздуха в обслуживаемой зоне, определяемые тепловой инерцией ограждений и видом используемого отопительного прибора. Анализ результатов показал, что снижение инерционности остекления приводит к более быстрому проникновению наружной температурной волны в помещение. При этом амплитуда колебаний температуры внутреннего воздуха обслуживаемой зоны остается постоянной по причине неизменной тепловой инерции основных конструкций. При снижении массивности стен и перекрытий наблюдается существенное увеличение амплитуды гармонических изменений температуры внутреннего воздуха в обслуживаемой зоне, тогда как запаздывание относительно колебаний температуры наружного воздуха остается практически постоянным.

Ключевые слова: численное моделирование, теплообмен, помещение, колебания температуры, тепловая инерция

Для цитирования: Захаревич, А. Э. Влияние суточных колебаний наружной температуры на микроклимат помещения / А. Э. Захаревич // *Наука и техника*. 2016. Т. 15, № 6. С. 476–480

Influence of Daily Outside Temperature Fluctuations on Indoor Climate

A. E. Zakharevich¹⁾

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

Abstract. The investigation of indoor air temperature fluctuations within the occupied zone (habitable zone) induced by periodic changes in outdoor air temperature has been carried out while using numerical simulation of heat transfer processes in a heated room. The developed and program-implementation two-dimensional physical and mathematical model takes into account unsteady nature of complex conjugate heat transfer in building envelopes and indoor air spaces of heated rooms while using different types of heating devices. The model includes equations of radiative heat transfer between indoor surfaces, windowpanes and outdoor environment. The paper considers two types of heaters: a radiator and underfloor heating. Loading of devices is specified by time-independent quantity according to thermal balance determined with the help of conventional methodology. Calculations have been made for three combinations of heat-transfer properties of building envelopes. Quantitative characteristics of induced indoor air temperature fluctuations in the occupied zone, determined by thermal inertia of building envelopes and type of used heating device, are calculated. The analysis of results shows that reduction of glazing inertia leads to faster penetration of outdoor temperature wave into the room. At the same time, the amplitude of indoor air temperature fluctuations in the occupied zone remains constant due to the unchanged thermal inertia of main building structures. When the mass of walls and floors is reduced, a significant increase in the amplitude of harmonic changes in indoor air temperature in the occupied zone is observed, while the lag relative to outdoor air temperature fluctuations remains practically constant.

Адрес для переписки

Захаревич Алексей Эдуардович
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

Zakharevich Aleksey E.
Belarusian National Technical University
150 Nezavisimosti Ave.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 265-97-29
tg_v_fes@bntu.by

tative characteristics of induced indoor air temperature fluctuations within the occupied zone have been determined while taking into account thermal inertia of building envelopes and type of the used heater. An analysis of results has revealed that reduction in glazing inertance leads to more rapid penetration of outdoor temperature wave into the room. In this case an amplitude of indoor air temperature fluctuations within the occupied zone remains constant due to unchanged thermal inertia of main building structures. Significant increase in the amplitude of harmonic indoor air temperature changes within the occupied zone has been observed when reducing massiveness of walls and slabs whereas delay remains practically invariable with respect to outside air temperature fluctuations.

Keywords: numerical simulation, heat transfer, room, temperature fluctuation, thermal inertia

For citation: Zakharevich A. E. (2016) Influence of Daily Outside Temperature Fluctuations on Indoor Climate. *Science & Technique*. 15 (6), 476–480 (in Russian)

Введение

Вопросам оценки теплоустойчивости ограждений и помещений уделяли внимание такие ученые, как О. Е. Власов [1], С. И. Муромов [2], Л. А. Семенов [3], А. М. Шкловер [4] и др. Наибольшим совершенством обладает инженерная методика оценки влияния нестационарных факторов на тепловой режим помещения, разработанная В. Н. Богословским [5]. Данная методика позволяет учитывать совокупное влияние гармонических и прерывистых поступлений как конвективной, так и лучистой теплоты.

Традиционные методики оценки влияния нестационарных факторов на изменение температуры внутренней среды помещения основаны на представлении об одномерности температурного поля в ограждениях. Не учитывается пространственное распределение параметров микроклимата в помещении. Использование численного моделирования позволяет устранить эти недостатки. В современных исследованиях математическое моделирование на основе дифференциальных уравнений переноса теплоты и массы широко используется для анализа формирования параметров микроклимата в условиях нестационарного характера внешних и внутренних определяющих факторов [6–8].

На основе системного подхода автором статьи проведено исследование* влияния периодического изменения температуры наружного воздуха на температуру обслуживаемой зоны помещения (зоны обитания), представляющей собой пространство высотой 2 м от пола. Использована разработанная и реализованная в виде программы двумерная физико-математическая модель, которая учитывает сопряженность и нестационарность различных видов теплообмена в ограждениях и в свободном пространстве отапливаемых помещений для различных видов отопительных приборов. Учитывались конструктивные особенности огражде-

ний и заполнений световых проемов. Модель включала в себя уравнения лучистого теплообмена между внутренними поверхностями, оконными стеклами и окружающей средой.

Удовлетворительная степень соответствия результатов расчета по двумерной модели реальным трехмерным процессам подтверждена экспериментами. Дифференциальные уравнения, составляющие модель, приведены в [9].

Постановка задачи

Гармонические колебания наружной температуры T_n во времени заданы формулой

$$T_n = T_{n0} + A_n \cos\left(\frac{2\pi}{P}\tau\right), \quad (1)$$

где T_{n0} – среднее значение температуры наружного воздуха; A_n – амплитуда гармонических изменений; P – период; τ – время.

Приняты следующие значения параметров: $T_{n0} = -24^\circ\text{C}$, $P = 24$ ч. Использованы три варианта амплитуды колебаний A_n : 6; 9 и 12°C . Расчетная область представляла собой вертикальный разрез отапливаемого помещения, расположенного на нижнем этаже, по середине окна. Снизу находился подвал с температурой 5°C . В смежных помещениях задавалась температура воздуха 20°C . Высота помещения 2,5 м, длина 6,0 м.

Рассмотрены два вида нагревателей: радиатор и напольное отопление. Нагрузка приборов задавалась постоянной во времени в соответствии с тепловым балансом, определенным по традиционной методике. Расчеты выполнены для трех комбинаций теплофизических свойств ограждений.

Комбинация 1. Материал наружного и внутреннего слоев наружной стеновой панели – железобетон, в качестве теплоизоляционного слоя принят пенополистирол. Оконная рама и подоконник – из древесины. Стеклопакет представлен материалом с эквивалентными теплофизическими характеристиками. Материал перекрытий и внутренней стены – железобетон.

* Выполнено под руководством докт. техн. наук, проф. П. И. Дячека.

Комбинация 2. Отличие от комбинации 1 в том, что для «эквивалентного» материала прозрачной части остекления плотность снижена с 314 до 150 кг/м³.

Комбинация 3. Отличие от комбинации 1 в том, что железобетон по описанной далее причине заменен не существующим в природе материалом, у которого сохранены все теплофизические свойства железобетона, в то время как плотность задана 1000 кг/м³ вместо 2500 кг/м³.

Для комбинаций 2 и 3 теплофизические свойства преднамеренно задавались таким образом, чтобы сохранить неизменным стационарный тепловой баланс и соответственно использовать одинаковую мощность отопления. Снижение в комбинации 2 плотности «эквивалентного» материала стеклопакета привело к пропорциональному снижению в два раза удельной объемной теплоемкости (ср, Дж/(м³·К)) и общей тепловой аккумулирующей способности данного элемента ограждения (Дж/К). На общую аккумулирующую способность всех ограждений помещения описанная корректировка не оказала существенного влияния.

Железобетон – основной материал ограждений – обладает самой значительной объемной теплоемкостью ср. Поэтому в комбинации 3 уменьшение в 2,5 раза плотности замещающего материала обеспечило практически пропорциональное снижение общей аккумулирующей способности всех ограждений помещения.

Гармонические изменения температуры наружного воздуха, построенные по формуле (1) в соответствии с заданными параметрами, представлены на рис. 1.

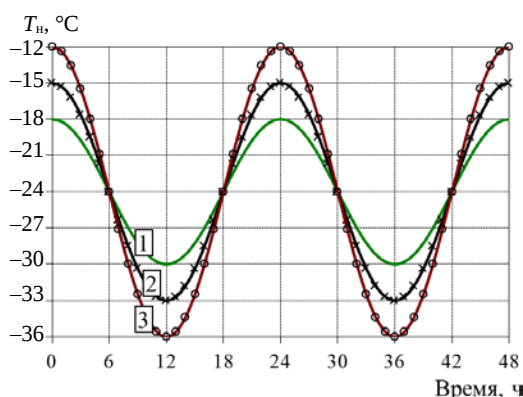


Рис. 1. Гармонические колебания температуры наружного воздуха при ее амплитуде A_n , °C: 1 – 6; 2 – 9; 3 – 12

Fig. 1. Harmonic fluctuations of outside air temperature with its amplitude A_n , °C: 1 – 6; 2 – 9; 3 – 12

Результаты расчетов

Колебания температуры внешней среды порождают гармонические изменения температуры в наружных ограждениях, что, в свою очередь, вызывает колебания температуры внутреннего воздуха, которые влияют на его циркуляцию. Расчетное изменение во времени температуры воздушной среды T_b , осредненной в пределах обслуживаемой зоны, для комбинации 1 теплофизических свойств материалов показано на рис. 2. Наблюдаются гармонические изменения с тем же периодом P , которые можно описать формулой

$$T_b = T_{b0} + A_b \cos\left(\frac{2\pi}{P}(\tau - \tau_3)\right), \quad (2)$$

где T_{b0} – среднее значение температуры за период колебаний; A_b – амплитуда гармонических изменений; τ_3 – время запаздывания относительно колебаний температуры наружного воздуха.

По данным рис. 2 видно, что во всех расчетах с применением радиатора $T_{b0} = 23,8$ °C. При использовании напольного отопления $T_{b0} = 17,2$ °C. Эти показатели найдены и для прочих комбинаций теплофизических свойств материалов. Указанные T_{b0} равны значениям, полученным автором при решении стационарных задач. Обнаружено, что в процессе использования напольного отопления дополнительные потери теплоты через конструкцию пола и перекрытие составляют 20 %, в то время как в условиях применения радиатора только 4,8 % нагрузки непродуктивно затрачивается на перегрев расположенных рядом ограждений [10].

Значения амплитуды A_b и запаздывания τ_3 колебаний T_b , изображенные на рис. 2, приведены в табл. 1. Независимо от вида прибора, A_b прямо пропорциональна амплитуде изменений температуры наружного воздуха A_n , в то время как значение τ_3 не связано с величиной A_n .

Результаты показывают, что амплитуда A_b в случае применения радиатора почти в два раза меньше, чем при напольном отоплении. Запаздывание τ_3 на четверть больше для радиатора. Отметим, что параметры колебаний определяются сложным взаимодействием множества элементов помещения как системы.

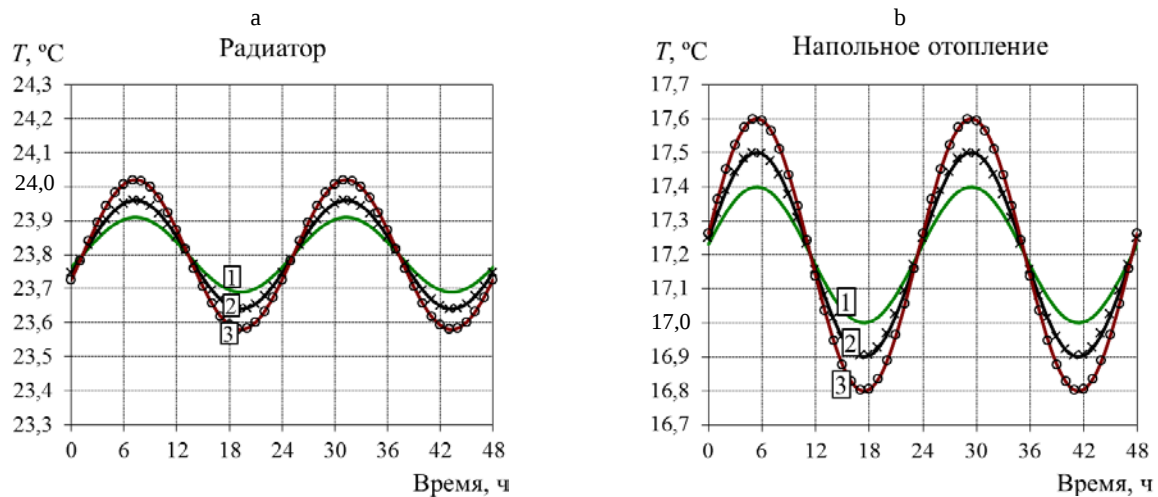


Рис. 2. Колебания средней температуры внутреннего воздуха обслуживаемой зоны для радиатора (а) и напольного отопления (б) (комбинация 1) при амплитуде температуры наружного воздуха A_n , °C: 1 – 6; 2 – 9; 3 – 12

Fig. 2. Fluctuations of average indoor air temperature within occupied zone for radiator (a) and underfloor heating (b) (combination 1) with amplitude of outside air temperature A_n , °C: 1 – 6; 2 – 9; 3 – 12

Таблица 1

Параметры колебаний T_b . Комбинация 1:
обычные свойства материалов ограждений

Parameters of T_b -fluctuations. Combination 1:
general properties of building envelope materials

Вид отопительного прибора	$A_n = 6$ °C		$A_n = 9$ °C		$A_n = 12$ °C	
	A_b , °C	τ_z , ч	A_b , °C	τ_z , ч	A_b , °C	τ_z , ч
Радиатор	0,11	7,3	0,16	7,3	0,22	7,3
Напольное отопление	0,20	5,4	0,30	5,4	0,40	5,4

На амплитуду и запаздывание изменений температуры T_b влияет при прочих равных условиях массивность ограждений. Колебания T_n вызывают изменение температуры не только в наружных ограждениях, непосредственно омываемых наружным воздухом. Температурная волна проникает также и во внутренние ограждения путем теплопроводности при непосредственном контакте конструкций, а также путем конвекции и радиационного теплообмена в помещении. В итоге температура всех внутренних поверхностей изменяется с тем же периодом, что и вынуждающие колебания T_n , но с различными амплитудами и запаздываниями относительно T_n .

Существенно различающиеся поля скорости воздуха в условиях использования радиатора и напольного отопления, разные (часто противоположные) направления теплового потока на внутренних поверхностях и в толще большинства ограждений обуславливают отличия в параметрах гармонических изменений T_b . Для комбинации 2 теплофизических свойств материалов параметры колебаний T_b указаны в табл. 2.

Таблица 2

Параметры колебаний T_b . Комбинация 2:
плотность «эквивалентного» материала прозрачной части остекления снижена с 314 до 150 кг/м³

Parameters of T_b -fluctuations. Combination 2:
density of “equivalent” material for transparent glazing part has been reduced from 314 to 150 kg/m³

Вид отопительного прибора	$A_n = 6$ °C		$A_n = 9$ °C		$A_n = 12$ °C	
	A_b , °C	τ_z , ч	A_b , °C	τ_z , ч	A_b , °C	τ_z , ч
Радиатор	0,11	6,6	0,16	6,6	0,22	6,6
Напольное отопление	0,20	4,8	0,30	4,8	0,40	4,8

Сравнение с результатами расчетов для комбинации 1 показывает различие только в величине запаздывания τ_z , которое в данной группе расчетов для радиатора сократилось на 10 %, а для напольного отопления – на 12 %. Снижение примерно в два раза плотности (и соответственно объемной теплоемкости) материала стеклопакета привело к уменьшению инерционности заполнения оконного проема. По этой причине сократилось запаздывание гармонических изменений температуры на внутренней поверхности остекления, что привело к указанному снижению запаздывания колебаний T_b относительно T_n .

Параметры гармонических изменений T_b в расчетах с комбинацией 3 теплофизических свойств материалов приведены в табл. 3.

Для комбинации 3, по сравнению с расчетами комбинации 1, существенно увеличались значения A_b , в то время как значения τ_z увеличились не столь значительно. Уменьшение в 2,5 раза объемной теплоемкости замещающего материала по отношению к реальному железобетону отразилось как на наружных (трех-

слойных стеновых панелях), так и на внутренних ограждениях, выполненных из этого материала. Теплоусвоение и тепловая инерция всех ограждений помещения, за исключением заполнения оконного проема, уменьшились.

Таблица 3

Параметры колебаний T_b . Комбинация 3:
плотность материала, замещающего железобетон,
задана 1000 кг/м³

Parameters of T_b -fluctuations. Combination 3:
density of material substituting reinforced concrete
has been assigned as 1000 kg/m³

Вид отопительного прибора	$A_n = 6\text{ }^{\circ}\text{C}$		$A_n = 9\text{ }^{\circ}\text{C}$		$A_n = 12\text{ }^{\circ}\text{C}$	
	$A_b, ^{\circ}\text{C}$	$\tau_z, \text{ч}$	$A_b, ^{\circ}\text{C}$	$\tau_z, \text{ч}$	$A_b, ^{\circ}\text{C}$	$\tau_z, \text{ч}$
Радиатор	0,15	7,6	0,20	7,6	0,25	7,6
Напольное отопление	0,25	5,8	0,37	5,8	0,49	5,8

Важно отметить, что снижение тепловой инерции основных ограждений приводит к увеличению амплитуды A_b колебаний температуры внутреннего воздуха обслуживаемой зоны.

ВЫВОДЫ

По результатам выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

- снижение инерционности наружных ограждений, через которые происходят основные теплотери (показано на примере остекления), приводит к уменьшению величины запаздывания, т. е. к более быстрому проникновению наружной температурной волны в помещение. При этом амплитуда колебаний температуры внутреннего воздуха в обслуживаемой зоне остается постоянной по причине неизменной тепловой инерции основных конструкций (стен, пола и потолка);
- при уменьшении массивности стен и перекрытий наблюдается существенное увеличение амплитуды колебаний температуры внутреннего воздуха в зоне обитания, тогда как запаздывание относительно гармонических изменений температуры наружного воздуха остается практически постоянным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Власов, О. Е. Основы строительной теплотехники (к курсу отопления и вентиляции) / О. Е. Власов. М.: Тип. ВИА РККА, 1938. 94 с.
2. Муромов, С. И. Расчетные температуры наружного воздуха и теплоустойчивость ограждений / С. И. Муромов. М.: Л.: Госстройиздат, 1939. 72 с.
3. Семенов, Л. А. Теплоустойчивость и печное отопление жилых и общественных зданий / Л. А. Семенов. М.: Изд-во и тип. Машстройиздата в Л., 1950. 264 с.
4. Шкловер, А. М. Теплоустойчивость зданий / А. М. Шкловер. М.: Гос. изд-во лит. по стр-ву и архит., 1952. 168 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. Numerical Study on the Thermal Performance of Building Wall and Roof Incorporating Phase Change Material Panel for Passive Cooling Application / X. Kong [et al.] // Energy and Buildings. 2014. Vol. 81. P. 404–415.
7. Rohdin, P. Experiences from Nine Passive Houses in Sweden – Indoor Thermal Environment and Energy Use / P. Rohdin, A. Molin, B. Moshfegh // Building and Environment. 2014. Vol. 71. P. 176–185.
8. Yang, D. Analysis and Experiments on the Periodically Fluctuating Air Temperature in a Building with Earth-Air Tube Ventilation / D. Yang, J. Zhang // Building and Environment. 2015. Vol. 85. P. 29–39.
9. Захаревич, А. Э. Особенности формирования микроклимата в многоцветных пространствах / А. Э. Захаревич // Вестник МГСУ. 2011. № 7. С. 148–154.
10. Захаревич, А. Э. Формирование параметров микроклимата в отапливаемых помещениях в условиях естественной конвекции / А. Э. Захаревич. Минск: БНТУ, 2012. 22 с.

Поступила 17.03.2016

Подписана в печать 23.05.2016

Опубликована онлайн 29.11.2016

REFERENCES

1. Vlasov O. E. (1938) *Fundamentals of Construction Thermal Technology (for the Course of Heating and Ventilation)*. Moscow, VIA RKKA [Military-Engineering Academy of Workers' and Peasants' Red Army] Publishing House. 94 (in Russian).
2. Muromov S. I. (1939) *Design Temperatures and Thermal Stability of Cladding Structures*. Moscow, Leningrad, Gosstroyizdat. 72 (in Russian).
3. Semenov L. A. (1950) *Thermal Stability and Furnace Heating of Residential and Public Buildings*. Moscow, Publishing House "Mashstroyizdat" in Leningrad. 264 (in Russian).
4. Shklover A. M. (1952) *Thermal Stability of Buildings*. Moscow: State Publishing House for Literature on Construction and Architecture. 168 (in Russian).
5. Bogoslovsky V. N. (1982) *Construction Thermophysics (Thermophysical Fundamentals of Heating, Ventilation and Conditioning of Air)*. 2nd ed. Moscow, Vysshaya Shkola. 415 (in Russian).
6. Kong X., Lu S., Li Y., Huang J., Liu S. (2014) Numerical Study on the Thermal Performance of Building Wall and Roof Incorporating Phase Change Material Panel for Passive Cooling Application. *Energy and Buildings*, 81, 404–415. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.06.044
7. Rohdin P., Molin A., Moshfegh B. (2014) Experiences from Nine Passive Houses in Sweden – Indoor Thermal Environment and Energy Use. *Building and Environment*, 71, 176–185. DOI: 10.1016/j.buildenv.2013.09.017.
8. Yang D., Zhang J. (2015) Analysis and Experiments on the Periodically Fluctuating Air Temperature in a Building with Earth-Air Tube Ventilation. *Building and Environment*, 85, 29–39. DOI: 10.1016/j.buildenv.2014.11.019.
9. Zakharevich A. E. (2011) Peculiar Features in Formation of Microclimate in Void Space. *Vestnik MGSU* [Moscow State University of Civil Engineering Bulletin], (7), 148–154 (in Russian).
10. Zakharevich A. E. (2012) *Formation of Microclimate Parameters in Heated Space Under Conditions of Natural Convection*. Minsk, BNTU [Belarusian National Technical University]. 22 (in Russian).

Received: 17.03.2016

Accepted: 23.05.2016

Published online: 29.11.2016

DOI: 10.21122/2227-1031-2016-15-6-481-481-492

УДК 69:330.322.214

Система оценки проектных решений объектов жилой недвижимости на предынвестиционной стадии с применением технологии нейронных сетей

Магистр техн. наук Г. Д. Костикова¹⁾, канд. техн. наук, доц. Г. В. Земляков¹⁾

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

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

Реферат. Еще со времен СССР проектные решения оценивались по различным критериям и показателям. На современном этапе оценки проектных решений выделяется системотехническая доктрина, дополненная теорией эффективности и финансовой устойчивости инвестиционного проекта с учетом общей концепции рынка. Кроме того, большое внимание уделяется виртуальному моделированию объекта. Актуальным является и включение прогнозирования поведения модели инвестиционного проекта в строительстве на каждой из стадий жизненного цикла. Высокая стоимость всех этапов жизненного цикла инвестиционного проекта в строительстве обуславливает необходимость максимально точно просчитать целесообразность инвестиций еще до начала проектных работ при оценке инвестиционного замысла. В Республике Беларусь законодательно закреплена предынвестиционная стадия разработки проекта строительства. Для оценки проектного решения на данной стадии необходимо разработать обоснование инвестиций, план управления проектом и бизнес-план проекта, которые позволят комплексно оценить и сравнить несколько вариантов будущих объектов. Это требует не только времени, но и значительных финансовых затрат. С целью оптимизации данного процесса предлагается разработать систему оценки проектных решений на базе уже имеющихся проектов. Она позволит заказчику (инвестору) выбрать вариант проектного решения при строительстве объекта недвижимости без разработки предпроектной документации из нескольких вариантов. Данную систему целесообразно опробовать на примере строительства многоквартирных жилых домов с привлечением республиканского фонда проектной документации и банка данных объектов-аналогов. В разрабатываемой системе оценки проектных решений объектов жилой недвижимости на предынвестиционной стадии предполагается использовать теорию нейронных сетей и нейропрограммирования. В системе на основе входных параметров обученные нейроны скрытого слоя выбирают приемлемые проекты многоквартирных жилых домов с классификацией в порядке убывания суммарной значимости основных выходных параметров. В результате заказчик получает спрогнозированные основные параметры будущего инвестиционного проекта без разработки комплекса предпроектной документации.

Ключевые слова: предынвестиционная стадия, система оценки, проектные решения, объекты жилой недвижимости, нейронная сеть, сеть Ворда

Для цитирования: Костикова, Г. Д. Система оценки проектных решений объектов жилой недвижимости на предынвестиционной стадии с применением технологии нейронных сетей / Г. Д. Костикова, Г. В. Земляков // *Наука и техника*. 2016. Т. 15, № 6. С. 481–492

Evaluation System of Design Solutions for Residential Property on Pre-Investment Stage Through Neural Network Technology

G. D. Kostiukava¹⁾, G. V. Zemliakov¹⁾

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

Abstract. Ever since the USSR timeline design solutions have been assessed according to various criteria and indicators. Systematic and technical doctrine used for evaluation of design solutions distinguishes itself at the present stage. The doctrine has been complemented by theory of efficiency and financial sustainability of an investment project with due account

Адрес для переписки

Земляков Геннадий Васильевич
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 150,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 331-01-18
osiun@bntu.by

Address for correspondence

Zemliakov Gennadiy V.
Belarusian National Technical University
150 Nezavisimosty Ave.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 331-01-18
osiun@bntu.by

of general market concept. Also great attention is paid to the virtual object modeling. It looks rather important to include behavior prediction of an investment construction project model at each stage of its life cycle. High cost of all life cycle stages pertaining to the investment construction project stipulates the necessity to calculate an investment prior to design works while assessing an investment idea. Pre-investment stage of construction project development has been secured in legislation of the Republic of Belarus. In order to evaluate a design solution at this stage it is necessary to develop an investment justification, a project management plan and a business plan which make it possible fully assess and compare several variants of future objects. such approach requires not only time, but considerable financial costs. It has been proposed to develop an evaluation system for design solutions for optimization of the given process and the system is based on the existing projects. The system allows a customer (an investor) to select a variant of design solution excluding development of pre-design documentations for several options while constructing an immovable property object. It is expediently to test the given system while using construction of multifamily residential building with involvement of Republican collection of design documentation and objects-analogues databank as an example. It is presupposed to use a theory of neural networks and neuro-programming in the developed system for assessment of design solutions for residential real estate objects at a pre-investment stage. This system bases on the input parameters projects. While using the system trained neurons of hidden layer select suitable projects of multifamily residential buildings on the basis of input parameters apartment houses with their classification. The projects are classified in decreasing order of summary significance of main output parameters. As a result, a customer obtains predicted main parameters of the future investment project without development of pre-design documentation package.

Keywords: pre-investment stage, evaluation system, design solutions, residential properties, neural network, Word network

For citation: Kotsikava G. D., Zemliakov G. V. (2016) Evaluation System of Design Solutions for Residential Property on Pre-Investment Stage Through Neural Network Technology. *Science & Technique*. 15 (6), 481–492 (in Russian)

Введение

Одна из базовых потребностей человека – потребность в безопасности (комфорт, постоянство условий жизни и др.), которую человек удовлетворяет, строя себе жилище [1]. Одним из приоритетных направлений социально-экономического развития Республики Беларусь на 2011–2015 гг. является строительство качественного и доступного жилья [2]. Многоквартирные жилые дома – наиболее доступный и широко распространенный вид такого жилья.

По данным национального статистического комитета, в 2014 г. на строительство жилья использовано 40,6 трлн рублей инвестиций в основной капитал, что составляет 19 % к общему объему инвестиций. При этом с государственной поддержкой построено 45 % общего объема введенного жилья, а из 50,9 % собственных средств населения 34,1 % приходится на кредиты (займы) банков.

Поскольку кредитные ресурсы дорогие, актуальна оценка эффективности инвестиций в жилищное строительство как со стороны конечного потребителя, так и со стороны организаций застройщика, заказчика, инвестора. С учетом высокой стоимости всех этапов жизненного цикла инвестиционного проекта в строительстве, и проектирования в том числе, при оценке инвестиционного замысла необходимо максимально точно просчитать целесообразность инвестиций еще до начала проектных работ.

Жизненный цикл объекта и его предынвестиционная стадия

Каждый проект характеризуется определенным жизненным циклом. Если говорить о проекте создания объекта жилой недвижимости, то его жизненный цикл можно представить в виде схемы, приведенной на рис. 1. Данная схема включает девять этапов существования объекта жилой недвижимости, каждый из которых характеризуется результатом, имеющим свои количественные и качественные характеристики. Эти этапы объединяются в три стадии: предынвестиционную, инвестиционную и эксплуатационную [3].

Указом Президента Республики Беларусь «О мерах по совершенствованию строительной деятельности» от 14 января 2014 г. № 26 закреплена предынвестиционная стадия разработки проекта строительства. Она включает разработку предпроектной документации, в которой определяются необходимость, техническая возможность, оцениваются воздействия на окружающую среду, экономическая целесообразность осуществления инвестиций в создание или преобразование объектов строительства, требования к земельному участку, варианты объемно-планировочных и технологических решений, сведения об инженерных нагрузках, источники и объемы финансирования, расчеты по определению эффективности осуществления инвестиций, социальных, экологических и других последствий возведения, реконструкции, реставрации и эксплуатации объектов строительства [4].



Рис. 1. Жизненный цикл объекта жилой недвижимости

Fig. 1. Life cycle of residential real estate property

Для оценки проектного решения на данной стадии необходимо разработать обоснование инвестиций, план управления проектом и бизнес-план проекта, которые позволят комплексно оценить и сравнить несколько вариантов будущих объектов, для чего требуется не только время, но и значительные финансовые затраты. С целью оптимизации данного процесса предлагается разработать систему оценки проектных решений на базе имеющихся проектов. Это позволит заказчику (инвестору) выбрать вариант проектного решения при строительстве объекта недвижимости без разработки предпроектной документации по нескольким вариантам. Данную систему целесообразно опробовать на примере строительства многоквартирных жилых домов с привлечением республиканского фонда проектной документации и банка данных объектов-аналогов [5].

Теоретические основы системы оценки проектных решений объектов жилой недвижимости

Любое проектное решение можно представить как кибернетическую систему, применяя широко известный принцип «черного ящика». В этом «ящике» исследуется поведение некото-

рой сложной системы, для которой известны некоторые параметры (факторы) входа X и оценки выхода Y . Схема «черного ящика» приведена на рис. 2 [6].

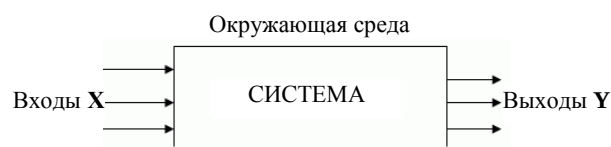


Рис. 2. Системы «черного ящика»

Fig. 2. "Black box" systems

Любой проект характеризуется разноразмерными показателями эффективности, технико-экономическими показателями конкретной размерности и качественными характеристиками, которые не всегда легко измерить. Если на предпроектной стадии есть несколько вариантов проектного решения объекта жилой недвижимости, то они сравниваются по следующим основным технико-экономическим и финансовым показателям: число квартир, общая площадь квартир и площадь жилого здания, строительный объем, удельный расход энергоресурсов на единицу площади, общая стоимость строительства, стоимость 1 м² общей площади, продолжительность строительства [7].

Эволюция подходов к оценке проектных решений

Еще со времен СССР проектные решения оценивали по различным критериям и показателям. В развитии оценочных концепций выделяли три этапа: эstimативный, субстантивный и пробативный.

Первые попытки оценить проектные решения относятся к периоду 1930–1962 гг. Тогда оценка проекта выражалась, как правило, количественно с сопоставлением с эталоном. Достичь большего эффекта меньшими средствами – характерная тенденция критериев оценки эstimативного типа. К 1962 г. было освоено множество методов оптимизации проектных решений. Эstimативный тип оценки в дальнейшем развивался от эстетических до экономических критериев.

Расцвет эstimативного типа оценки совпадает по времени с возникновением нового субстантивного типа (от англ. *subsist* – существовать, содержать), вызванного необходимостью обоснования проектных решений (1962–1970 гг.). Одной из ведущих тенденций было стремление типизировать, эталонировать оценку, облегчить прохождение через оценочный фильтр всей массы проектов, ускорить ее за счет автоматизации обработки информации. Оценка на этом этапе исследовалась по двум основным направлениям.

Первое – продолжение линии эstimативной оценки в условиях автоматизации в рамках деятельности Государственного института типового и экспериментального проектирования и технических исследований (Гипротиса). На этом этапе были сформулированы критерии оптимальности проектирования генеральных планов предприятий и схем размещения центров культурно-бытового обслуживания, промышленных зданий, строительных конструкций и пр. Аналогичные работы велись в области оценки оптимальных решений объектов градостроительства (Л. Н. Авдоткин), жилых зданий (Д. Н. Яблонский, Г. И. Лаврик, Л. Д. Бронер), типового проектирования, сметного дела в системе институтов Государственного комитета по гражданскому строительству и архитектуре (Госгражданстроя) и Государственного комитета СССР по делам строительства (Госстроя СССР).

Второе направление этапа субстантивной оценки – поиск критериальной «субстанции» в самом процессе проектирования. В этот период советские исследователи сформулировали сущность субстантивной оценки как обоснования проекта. Введено технико-экономическое обоснование (ТЭО) проекта, в котором приводились расчеты и сведения об экономической целесообразности и хозяйственной необходимости строительства того или иного объекта. Для оценки привлекались различные научные дисциплины: философия (К. А. Иванов), социология (О. Н. Яницкий, З. Н. Яргина, И. Н. Канева), бионика (Ю. С. Лебедев), теории потока (М. С. Будников), комплексного анализа (Р. И. Фоков), системного анализа и функциональных систем (А. А. Гусаков) и др.

С точки зрения полноты учета данных при проектировании строительных объектов и процессов интересен критерий «организационно-технологической надежности» и другие критерии, предложенные в работах А. А. Гусакова (способность технологических, организационных, управленческих экономических решений обеспечивать достижение заданного результата строительного производства в условиях случайных возмущений, присущих строительству как сложной вероятностной системе).

С 1971 г. выделяют следующий этап – пробативную оценку. Он связан с экспериментом и испытанием. Проектировщик ведет доказательство истинности решения на всем протяжении проектного поиска. На этом этапе требуются специальные средства моделирования, позволяющие выявить несоответствия и рассогласования в проектных решениях на текущем этапе разработки. Такими средствами являются семантические модели М. М. Субботина. Мера истинности проектных решений выражается количественно и предъявляется проектировщикам на каждом этапе развития решения с помощью ЭВМ путем инвариантного моделирования.

В 80-е и 90-е гг. прошлого века проводились исследования по выработке методик оценки проектных решений различных типов зданий по всем трем направлениям. Можно выделить работы ученых: Э.-К. К. Завадскаса (многоцелевой выбор технических и организационно-

технологических решений на различных стадиях проектирования), А. К. Шрейбера (основы организации проектирования реконструкции жилых зданий), С. И. Булгакова, С. Н. Рейнина и О. А. Сердюковой (экономическая оценка качества проектов), В. В. Шумакова (организация формирования качества проектов жилых зданий для конкретных условий строительства), В. В. Герасимова (методологические основы организации проектирования объектов жилищного строительства) и др.

С 1990-х гг. происходит развитие принципов оценки зданий как среды обитания человека, отвечающей требованиям комфортности, энергоэффективности, экологичности, которые должны обеспечивать защиту окружающей среды. Это привело к появлению систем оценки качества проектных и строительных решений зданий по показателям энергоэффективности, экологии, комфортности и ресурсосбережения (Е. Ю. Майорова). В этот и последующие периоды для оценки качества проектных решений начали рассматривать инвестиционный процесс строительства объекта, включая предпроектную и послепроектную стадии (Л. В. Киевский) [8].

В начале XXI в. оценка проектных решений дополнилась теорией эффективности и финансовой устойчивости инвестиционного проекта с учетом общей концепции рынка (В. В. Герасимов [9], П. А. Калинин [10], Е. В. Кузнецова [11], О. Н. Дьячкова [12]). Развивается системотехническая доктрина организационно-технологических циклов объектов строительства с применением генетического метода (Е. А. Гусакова [13]) и архитектурно-бионических систем (И. Д. Павлов, И. А. Арутюнян [14]). Вместе с комплексным рассмотрением всего жизненного цикла объекта строительства развивается виртуальное моделирование (Н. И. Пресняков [15], Н. А. Лузганов [16]), которое также опирается на системотехнику, теорию функциональных систем и системный анализ. Пространство объекта моделируют функциональной системой «человек – техника – среда» (В. О. Чулков, И. Я. Мастуров, С. А. Рафиков, И. И. Вейкум, П. Н. Смирнов, П. Н. Бурьянов и др.) [17]. Много внимания уделяется системе моделирования и оптимизации эксплуатации (С. Г. Шей-

на [18]), переустройства и утилизации объектов недвижимости, а также оценке проектных решений на этапе раннего проектирования объекта (К. А. Фролов [19]).

На современном этапе оценки проектных решений рекомендуется развитие системотехнической доктрины, дополненной теорией эффективности и финансовой устойчивости инвестиционного проекта с учетом общей концепции рынка. Кроме того, большое внимание необходимо уделить виртуальному моделированию объекта. Актуальным является и включение в теоретическую базу элементов прогнозирования поведения модели объекта на каждой из стадий жизненного цикла.

Общие понятия нейронных сетей

В разрабатываемой системе оценки проектных решений объектов жилой недвижимости на предынвестиционной стадии предлагается использовать теорию нейронных сетей и нейропрограммирования. Искусственные нейронные сети, они же коннекционистские или связевые системы, представляют собой устройства, использующие огромное число элементарных условных рефлексов, называемых синапсами Хебба – по имени канадского физиолога [20].

Искусственная нейронная сеть – система соединенных и взаимодействующих между собой простых процессоров (искусственных нейронов). Такие процессоры обычно довольно просты (особенно в сравнении с процессорами, используемыми в персональных компьютерах). Каждый процессор подобной сети имеет дело только с сигналами, которые он периодически получает, и сигналами, которые он периодически посылает другим процессорам [21].

Нейрон – базовый элемент нейронной сети, единичный простой вычислительный процессор, способный воспринимать, преобразовывать и распространять сигналы (рис. 3).

Объединение большого количества нейронов в одну сеть позволяет решать достаточно сложные задачи (рис. 4). Простейшей нейронной сетью является персептрон Розенблатта (далее – персептрон), включающий три слоя нейронов: входной, выходной и промежуточный [22].

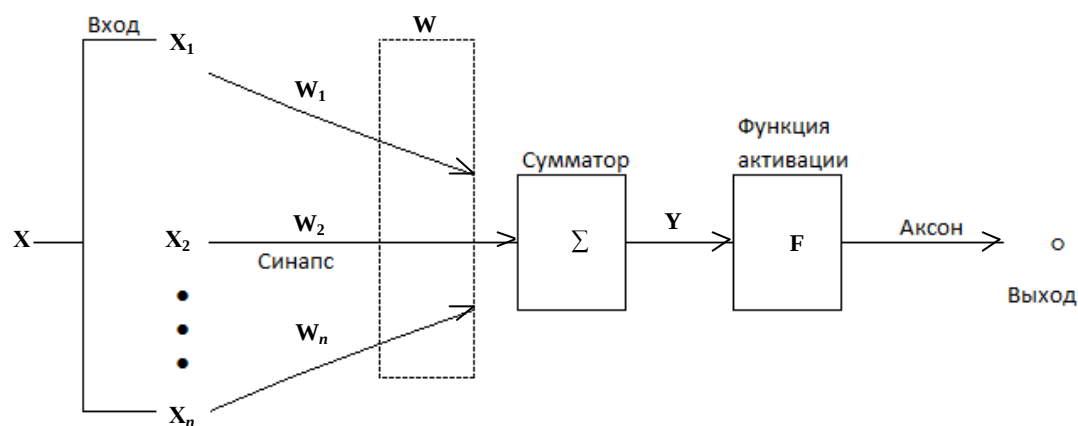


Рис. 3. Схема нейрона: X_1-X_n – векторы входных сигналов; W_1-W_n – весовые множители, с которыми входные сигналы будут интерпретироваться нейроном (синапс); W – упорядоченная совокупность весовых коэффициентов; Σ – блок суммирования, в котором накапливается входной сигнал (сумматор); Y – выходной сигнал; F – активационный элемент или нелинейный преобразователь, преобразующий текущее состояние нейрона в выходной сигнал согласно некоторому нелинейному закону (функция активации аксона)

Fig. 3. Neuron scheme: X_1-X_n – vectors of input signals; W_1-W_n – weight coefficients with which input signals will be interpreted by neuron (synapse); W – ordered collection of weight coefficients; Σ – summation unit which accumulates input signal (summator); Y – output signal; F – activation element or nonlinear function generator converting current neuron state in output signal according certain nonlinear law (function of axon activation)

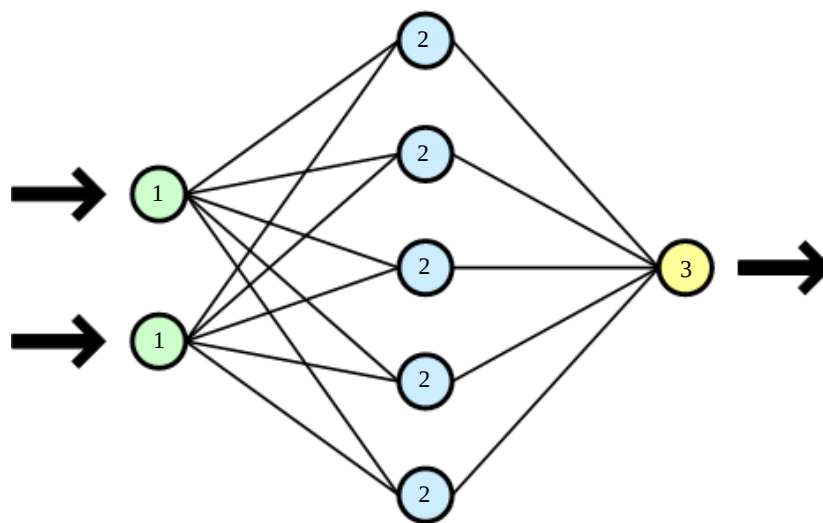


Рис. 4. Структурная схема простейшей нейронной сети (персептрона), включающей слои нейронов: 1 – входной; 2 – скрытый (промежуточный); 3 – выходной

Fig. 4. Structural scheme of simple neural network (perceptron) including neuron layers: 1 – input layer; 2 – concealed (intermediate) layer; 3 – output layer

По своей организации и функциональному назначению искусственная нейронная сеть с несколькими входами и выходами выполняет некоторое преобразование входных стимулов (сенсорной информации о внешнем мире) в выходные управляющие сигналы. Число преобразуемых стимулов n равно количеству входов сети, а число выходных сигналов соответствует количеству выходов m . Совокупность всевоз-

можных входных векторов размерности n образует векторное признаковое пространство X . Аналогично выходные векторы также формируют признаковое пространство, которое будет обозначаться Y . Теперь нейронную сеть можно представить как некую многомерную функцию $F : X \rightarrow Y$, аргумент которой принадлежит признаковому пространству входов, а значение – выходному признаковому пространству.

При произвольном значении синаптических весовых коэффициентов нейронов сети функция, реализуемая сетью, также произвольна. Для получения требуемой функции необходим специфический выбор весов. Упорядоченная совокупность весовых коэффициентов всех нейронов может быть представлена как вектор $\mathbf{W}$. Множество всех таких векторов также формирует векторное пространство, называемое пространством состояний или конфигурационным (фазовым) пространством $\mathbf{W}$.

Задание вектора в конфигурационном пространстве полностью определяет все синаптические веса и тем самым состояние сети. Состояние, при котором нейронная сеть выполняет требуемую функцию, называют обученным состоянием сети $\mathbf{W}^*$. Отметим, что для заданной функции обученное состояние может не существовать или быть не единственным. Задача обучения теперь формально эквивалентна построению процесса перехода в конфигурационном пространстве от некоторого произвольного состояния $\mathbf{W}^*$ к обученному состоянию.

Требуемая функция однозначно описывается путем задания соответствия каждому вектору признакового пространства $\mathbf{X}$ некоторого вектора из пространства $\mathbf{Y}$. Во многих практических случаях значения требуемых функций для заданных значений аргумента получаются из эксперимента или наблюдений и, следовательно, известны лишь для ограниченной совокупности векторов. Кроме того, известные значения функции могут содержать погрешности, а отдельные данные могут даже частично противоречить друг другу. По этим причинам перед нейронной сетью обычно ставится задача приближенного представления функции по существующим примерам.

Имеющиеся в распоряжении исследователя примеры соответствий между векторами либо специально отобранные из всех примеров наиболее представительные данные называют обучающей выборкой. Обучающая выборка определяется обычно заданием пар векторов, причем в каждой паре один вектор соответствует стимулу, а второй – требуемой реакции. Обучение нейронной сети состоит в приведении всех векторов стимулов из обучающей выборки требуемым реакциям путем выбора весовых коэффициентов нейронов.

Наиболее общим способом оптимизации нейронной сети является постепенная процеду-

ра подбора весов, называемая обучением. Если данная процедура опирается на обучающую выборку примеров, это называется «обучение с учителем».

Пусть имеется нейронная сеть, выполняющая преобразование $\mathbf{F} : \mathbf{X} \rightarrow \mathbf{Y}$ векторов $\mathbf{X}$ из признакового пространства входов $\mathbf{X}$ в векторы $\mathbf{Y}$ выходного пространства $\mathbf{Y}$. Сеть находится в состоянии $\mathbf{W}$ из пространства состояний $\mathbf{W}$. Пусть далее имеется обучающая выборка $(\mathbf{X}^a, \mathbf{Y}^a)$, $a = 1 \dots p$. Рассмотрим полную ошибку $\mathbf{E}$, делаемую сетью в состоянии $\mathbf{W}$:

$$\begin{aligned} \mathbf{E} = \mathbf{E}(\mathbf{W}) &= \sum_a \|\mathbf{F}(\mathbf{X}^a; \mathbf{W}) - \mathbf{Y}^a\| = \\ &= \sum_a \sum_i [\mathbf{F}_i(\mathbf{X}^a; \mathbf{W}) - \mathbf{Y}_i^a]^2, \end{aligned} \quad (1)$$

где $\mathbf{E}(\mathbf{W})$ – полная ошибка в пространстве состояний сети $\mathbf{W}$; $\mathbf{F}$ – функция преобразования нейронной сетью входных параметров в выходные; $\mathbf{W}$ – состояние сети; $\mathbf{X}^a$ – входное значение обучающей выборки сети; $\mathbf{Y}^a$ – выходное значение обучающей выборки сети; $\mathbf{F}_i$ – функция преобразования нейронной сетью входных параметров $\mathbf{X}^a$ в выходной $\mathbf{Y}_i^a$; $\mathbf{Y}_i^a$ – i -й выходной параметр обучающей выборки сети.

Отметим два свойства полной ошибки. Во-первых, ошибка $\mathbf{E} = \mathbf{E}(\mathbf{W})$ является функцией состояния $\mathbf{W}$, определенной на пространстве состояний. По определению, она принимает неотрицательные значения. Во-вторых, в некотором обученном состоянии $\mathbf{W}^*$, в котором сеть не делает ошибок на обучающей выборке, данная функция принимает нулевое значение. Следовательно, обученные состояния являются точками минимума введенной функции $\mathbf{E}(\mathbf{W})$.

Таким образом, задача обучения нейронной сети – поиск минимума функции ошибки в пространстве состояний, и следовательно, для ее решения могут применяться стандартные методы теории оптимизации. Эта задача относится к классу многофакторных. Например, для однослойного персептрона с $\mathbf{N}$ входами и $\mathbf{M}$ выходами речь идет о поиске минимума в $(\mathbf{N} \times \mathbf{M})$ -мерном пространстве [23].

Искусственная нейронная сеть является моделью типа «черный ящик» (рис. 2). С точки зрения машинного обучения, нейронная сеть представляет собой частный случай методов распознавания образов, дискриминантного анализа, методов кластеризации и т. п. С матема-

тической точки зрения, обучение нейронных сетей – это многопараметрическая задача нелинейной оптимизации. С точки зрения кибернетики, нейронная сеть используется в задачах адаптивного управления и как алгоритм для робототехники. С точки зрения развития вычислительной техники и программирования, нейронная сеть – способ решения проблемы эффективного параллелизма [21].

Нейросетевой подход свободен от модельных ограничений, он одинаково годится как для линейных, так и для сложных нелинейных задач, а также для задач классификации. Обучение нейронной сети в первую очередь заключается в изменении «силы» связей между нейронами. Нейронные сети масштабируемы, они способны решать задачи как в рамках единичных элементов, так и в масштабах сложных систем в целом [22].

Уже сейчас искусственные нейронные сети применяются для решения очень многих задач обработки изображений, управления роботами и непрерывными производствами, для понимания и синтеза речи, диагностики заболеваний людей и технических неполадок в машинах и приборах, для предсказания курсов валют, результатов скачек и т. д. Та часть задач, которая связана с разработкой устройств переработки информации на основе принципов работы естественных нейронных систем, относится к области нейроинформатики или нейровычислений (нейрокомпьютинга).

Суть всех подходов нейроинформатики – разработка методов создания (синтеза) нейронных схем, решающих те или иные задачи. Нейрон при этом выглядит как устройство очень простое: нечто вроде усилителя с большим числом входов и одним выходом. Различие между подходами и методами – в деталях представлений о работе нейрона и, конечно, в представлениях о работе связей. Основная нагрузка на выполнение конкретных функций процессорами ложится на архитектуру системы, детали которой, в свою очередь, определяются межнейронными связями [20].

Применение теории нейронных сетей к системе оценки проектных решений объектов на предынвестиционной стадии

В рамках создания системы оценки проектных решений объектов жилой недвижимости на

предынвестиционной стадии вначале решается задача несколькими типами нейронных сетей. Затем производится сравнение результативности их применения и скорости обработки данных с целью выбора оптимального варианта. Создание нейронной сети, адаптированной для решения поставленной задачи, состоит из нескольких этапов:

- 1) выбора типа (архитектуры) сети;
- 2) подбора весов (обучение) сети;
- 3) применения сети.

На первом этапе следует выбрать, какие нейроны предполагается использовать (число входов, передаточные функции), каким образом их соединить между собой, что взять в качестве входов и выходов сети.

Существует несколько десятков различных нейросетевых архитектур, причем эффективность многих из них доказана математически. Наиболее популярные и изученные архитектуры – это многослойный персептрон, нейросеть с общей регрессией, сети Кохонена и др.

На втором этапе следует «обучить» выбранную сеть, т. е. подобрать такие значения ее весов, чтобы сеть работала нужным образом. В используемых на практике нейросетях количество весов может составлять несколько десятков тысяч. Для многих архитектур разработаны специальные алгоритмы обучения, которые позволяют настроить веса сети определенным образом.

Пусть у нас имеется некоторая база данных, содержащая примеры из разных классов, которые необходимо научиться распознавать. Нам известен и верный (желаемый) ответ. Вычисляя разность между желаемым и реальным ответами сети, мы получаем вектор ошибки. Далее, применяя различные алгоритмы по вектору ошибки, вычисляем требуемые поправки для весов сети.

После многократного предъявления примеров веса сети стабилизируются, причем сеть дает правильные ответы на все (или почти все) примеры из базы данных. В программных реализациях можно видеть, что в процессе обучения величина ошибки (сумма квадратов ошибок по всем выходам) постепенно уменьшается. Когда величина ошибки достигает нуля или приемлемого малого уровня, тренировку останавливают, а полученную сеть считают натренированной и готовой к применению на новых

данных. После того как сеть обучена, ее можно применять для решения поставленной задачи.

Для выполнения нашей задачи выбора проектного решения на предынвестиционной стадии необходимо решить задачу принятия решения. Здесь обученная нейросеть выступает как эксперт, обладающий большим опытом и способный дать ответ на трудный вопрос с учетом множества входных параметров.

Такая задача близка к задаче классификации. Классификации подлежат ситуации, характеристики которых поступают на вход нейронной сети. На выходе сети при этом должен появиться признак решения, которое она приняла. В данном случае в качестве входных сигналов используются различные критерии описания состояния управляемой системы [24].

Рассмотрим пример упрощенной модели системы оценки проектных решений объектов жилой недвижимости. На этапе выбора типа сети и с учетом особенностей входных и выходных параметров принимаем решение применить нейронную сеть Ворда. Нейронная сеть Ворда – искусственная нейронная сеть, топология которой характеризуется тем, что внутренние (скрытые) слои нейронов разбиты на блоки (рис. 5).

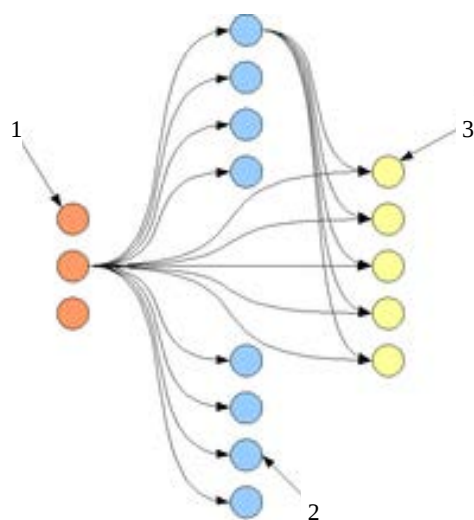


Рис. 5. Топология сети Ворда с двумя блоками скрытого слоя и обходным соединением: 1 – нейроны входного слоя; 2 – нейроны блока скрытого слоя; 3 – нейроны выходного слоя

Fig. 5. Topology of the Word network with two units of concealed layer and by-pass connection: 1 – neurons of input layer; 2 – neurons of concealed layer unit; 3 – neurons of output layers

Нейронные сети Ворда различаются количеством блоков скрытого слоя и наличием или отсутствием обходных соединений. Разбиение скрытых слоев на блоки позволяет использовать различные передаточные функции для разных блоков скрытого слоя. Таким образом, одни и те же сигналы, полученные от входного слоя, взвешиваются и обрабатываются параллельно с использованием нескольких способов, а полученный результат затем обрабатывается нейронами выходного слоя. Применение различных методов обработки для одного и того же набора данных позволяет сказать, что нейронная сеть анализирует данные с различных аспектов. Практика показывает, что сеть дает очень хорошие результаты при решении задач прогнозирования и распознавания образов. Для нейронов входного слоя, как правило, устанавливается линейная функция активации. Функция активации для нейронов из блоков скрытого и выходного слоев определяется экспериментально.

Для обучения нейронной сети Ворда можно применять метод обратного распространения ошибки [25]. Основная идея этого метода состоит в распространении сигналов ошибки от выходов сети к ее входам в направлении, обратном прямому распространению сигналов в обычном режиме работы. На каждой итерации алгоритма обратного распространения весовые коэффициенты нейронной сети модифицируются так, чтобы улучшить решение одного примера. Таким образом, в процессе обучения циклически решаются однокритериальные задачи оптимизации.

Для обучения нейронной сети использовали выборку базы данных проектных решений многоквартирных жилых домов. Каждый проект в базе обладает набором определенных характеристик. Перечислим некоторые основные свойства проектов стадий проектирования и строительства: число квартир, общая площадь квартир, площадь жилого здания, строительный объем, конструктивная схема, применяемые материалы, удельный расход энергоресурсов на единицу площади, общая стоимость строительства, трудоемкость и энергоемкость, стоимость 1 м² общей площади, продолжительность строительства, продолжительность и стоимость

проектирования, наличие подвала и чердака, характеристики участка и места строительства, наличие инженерных сетей, стоимость земли и т. д. Также по проектам можно добавить данные эксплуатационной стадии, например: общий срок службы, сроки службы до замены инженерных сетей и капитального ремонта, энергопотребление в процессе эксплуатации, среднегодовую стоимость эксплуатации и обслуживания. База данных формируется на основе уже реализованных проектов.

Общая выборка проектов может быть поделена следующим образом: 70 % проектов выборки используется для обучения сети, 30 % – в качестве контрольной выборки для оценки качества обучения сети и дальнейшего сравнения сетей между собой.

В условном примере системы оценки проектных решений объектов жилой недвижимости в качестве входных используем следующие параметры (пространство X): сумму инвестиций, общую площадь квартир, этажность, место строительства и геологические условия, размер участка, наличие инженерных сетей. Прогнозные выходные параметры (пространство Y): продолжительность строительства, его стоимость, срок окупаемости инвестиций и т. д. Данные параметры будут прогнозируемыми на основании фактических данных базы проектов. По результатам обработки информации обученные нейроны скрытого слоя выберут приемлемые проекты многоквартирных жилых домов и классифицируют их в порядке убывания суммарной значимости основных выходных параметров.

При использовании разных типов нейронных сетей можно настроить каждую из них на увеличение удельного веса одного выходного параметра. Таким образом, мы получаем разносторонний анализ проектов с точки зрения различных показателей. Можно предусмотреть, чтобы пользователь в режиме диалога корректировал значимость выходных параметров. Также при выборе одного из предложенных вариантов система в автоматическом режиме может выполнить расчеты прибыльности проекта, определить сроки его реализации, составить план управления и бизнес-план проекта, задание на проектирование объекта.

ВЫВОДЫ

1. Реализация системы оценки проектных решений объектов жилой недвижимости на прединвестиционной стадии на основе технологии нейронных сетей позволит спрогнозировать основные параметры инвестиционного проекта. В перспективе можно оценивать эксплуатационную стадию жизненного цикла объекта, которая занимает гораздо больший временной промежуток, чем прединвестиционная и инвестиционная.

2. Реализация системы через технологию нейронных сетей даст возможность на высокой скорости обрабатывать большие массивы статистических данных и прогнозировать выходные параметры сети с высокой степенью вероятности с учетом оценки рисков и оптимизации потоков основных ресурсов. Также с учетом особенностей обучения нейронной сети можно говорить о повышении точности прогнозных данных с расширением обучающей выборки.

3. Несомненными преимуществами применения искусственных нейронных сетей являются быстрота их действия и свобода от модельных ограничений. Они одинаково годятся как для линейных, так и для сложных нелинейных задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маслоу, А. Мотивация и личность / А. Маслоу. – 3-е изд. СПб.: Питер, 2011. 352 с.
2. Программа социально-экономического развития Республики Беларусь на 2011–2015 гг. [Электронный ресурс]: Указ Президента Республики Беларусь, 11 апреля 2011, № 136 // Naviny. Информационный портал Республики Беларусь. Режим доступа: <http://naviny.org/2011/04/11/by16666.htm>. Дата доступа: 15.03.2016.
3. Земляков, Г. В. Функциональный ресурс взаимодействия потребителя и объекта жилой недвижимости / Г. В. Земляков, Г. Д. Костикова // Архитектура и строительство. 2009. № 10. С. 46–49.
4. О мерах по совершенствованию строительной деятельности: Указ Президента Республики Беларусь, 14 января 2014 г., № 26 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. 2014. №1. 1/14755.
5. Инструкция о порядке создания и ведения республиканского фонда проектной документации и республиканского банка данных объектов, предоставления в пользование и использования материалов и данных указанных фонда и банка данных [Электронный ресурс]: постановление Министерства архитектуры и

- строительства Республики Беларусь, 26 марта 2014 г., № 14 // Архитектура и строительство: информационно-новостной портал. Режим доступа: <http://arcp.by/ru/article/postanovlenie-ministerstva-arhitektury-i-stroitelstva-respubliki-belarus-ot-26-marta-2014-g>. Дата доступа: 15.03.2016.
6. Земляков, Г. В. Системотехническая характеристика оценки качества проектных решений объектов жилой недвижимости в Республике Беларусь / Г. В. Земляков, Г. Д. Костикова // Вопросы внедрения норм проектирования и стандартов Европейского союза в области строительства: материалы науч.-метод. семинара, Минск, 29 мая 2012 г. / редкол.: В. Ф. Зверев [и др.]. Минск: БНТУ, 2012. Ч. 1. С. 231–240.
 7. Строительство. Предпроектная документация. Состав и порядок разработки: ТКП 45-1.02-298–2014. Введ. в действие 14.07.2014. Минск: Минстройархитектуры, 2014. 49 с.
 8. Земляков, Г. В. Анализ развития основных подходов к оценке качества проектных решений жилых зданий / Г. В. Земляков, Г. Д. Костикова // Вопросы внедрения норм проектирования и стандартов Европейского союза в области строительства: материалы науч.-метод. семинара, Минск, 22 мая 2013 г. / редкол.: В. Ф. Зверев [и др.]. Минск: БНТУ, 2013. Ч. 1. С. 221–231.
 9. Герасимов, В. В. Методологические основы организации проектирования объектов жилищного строительства / В. В. Герасимов. Новосибирск, 2001. 34 с.
 10. Калинин, П. А. Организационное и инженерно-технологическое обеспечение качества строительной продукции жилых зданий / П. А. Калинин. М., 2002. 22 с.
 11. Кузнецова, Е. В. Модели и методы оценки технологичности проектов объектов строительства / Е. В. Кузнецова. СПб., 2000. 26 с.
 12. Дьячкова, О. Н. Системная оценка параметров технологии возведения жилых многоэтажных зданий / О. Н. Дьячкова. СПб.: СПбГАСУ, 2009. 146 с.
 13. Гусакова, Е. А. Организационно-технологическая оценка объемно-конструктивных решений производственных зданий на стадиях проектирования / Е. А. Гусакова. М.: Моск. инж.-строит. ин-т имени В. В. Куйбышева, 1993. 18 с.
 14. Павлов, И. Д. Конструктивно-технологические аспекты для оценки проектных решений архитектурно-бионических систем / И. Д. Павлов, И. А. Арутюнян, М. А. Каплуновская // Коммунальное хозяйство городов. Сер.: Технические науки. 2006. Вып. 76. С. 170–175.
 15. Пресняков, Н. И. Виртуальные объекты строительства / Н. И. Пресняков // Сборник науч. и педагог. трудов кафедры САПР. М.: МГСУ, 2000. С. 38.
 16. Лузганов, Н. А. Организационно-технологическое проектирование возведения или строительного переустройства объекта с использованием его виртуальной модели / Н. А. Лузганов. М., 2006. 18 с.
 17. Фахратов, М. А. Конкурентоспособные организационно-технологические решения реконструкции и переустройства объектов в условиях техногенных воздействий / М. А. Фахратов. М., 2004. 46 с.
 18. Шейна, С. Г. Методология стратегического управления техническим состоянием жилищного фонда путем моделирования и оптимизации организационно-технологических решений / С. Г. Шейна. Р.-на-Д., 2008. 49 с.
 19. Фролов, К. А. Оценка вариантов проектных решений на ранней стадии проектирования / К. А. Фролов. М., 2011. 22 с.
 20. Нейроинформатика [Электронный ресурс] / А. Н. Горбань [и др.]. Новосибирск: Наука. Сибирское предприятие РАН, 1998. 296 с. Режим доступа: <http://neuroschool.narod.ru/books/neurinf.html>.
 21. Искусственная_нейронная_сеть [Электронный ресурс] // Википедия. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>. Дата доступа: 15.03.2016.
 22. Система прогнозирования на базе нейронных сетей в промышленности [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://habrahabr.ru/post/171019/>. Дата доступа: 15.03.2016.
 23. Терехов, С. А. Лекции по теории и приложениям искусственных нейронных сетей [Электронный ресурс] / С. А. Терехов. 1998. Режим доступа: http://alife.narod.ru/lectures/neural/Neu_index.htm. Дата доступа: 15.03.2016.
 24. Круглов, В. В. Искусственные нейронные сети: теория и практика / В. В. Круглов, Б. В. Борисов. М.: Горячая линия – Телеком, 2001. 382 с.
 25. Нейронная_сеть_Ворда [Электронный ресурс] // Википедия. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>. Дата доступа: 15.03.2016.

Поступила 29.02.2016

Подписана в печать 03.05.2016

Опубликована онлайн 29.11.2016

REFERENCES

1. Maslow A. (2011) *Motivation and Personality*. 3rd Edition. Saint-Petersburg, Piter. 352 (in Russian).
2. Program for Socio-Economic Development of Belarus for 2011–2015 Approved. Decree of the President of the Republic of Belarus, 11 April 2011, No 136. *Naviny. Information Portal of the Republic of Belarus*. Available at: <http://naviny.org/2011/04/11/by16666.htm>. (Accessed 15 March 2016) (in Russian).
3. Zemlyakov G. V., Kostikova G. D. (2009) Functional Resource for Interaction of Consumer and Object of Residential Real Estate. *Arkhitektura i Stroitelstvo* [Architecture and Construction], (10), 46–49 (in Russian).
4. About Measures on Improvement of Construction Activity Approved Decree of the President of the Republic of Belarus, 14 January 2014, No 26. *Natsionalnyi Reestr Pravovykh Aktov Respubliki Belarus* [National Register of Legal Acts of the Republic of Belarus], 2014, (1), 1/14755.
5. Instruction on Procedure for creation and Operation of Republican Fund for Design Documentation and Republican Databank for Objects, Provision for Usage and Application of Materials and Data of the Mentioned Fund and Databank. Ordinance of Ministry of Architecture and Construction of the Republic of Belarus, 26 March 2014, No 14. *Architecture & Construction: Information and News*

- Portal. Available at: <http://arcp.by/ru/article/postanovlenie-ministerstva-arhitektury-i-stroitelstva-respubliki-belarus-ot-26-marta-2014-g>. (Accessed 15 March 2016) (in Russian).
6. Zemlyakov G. V., Kostikova G. D. (2012) Systematic and Technical Characteristics for Qualitative Evaluation of Design Solutions for Objects of Residential Real Estate in the Republic of Belarus. *Voprosy Vnedreniia Norm Proektirovaniia i Standartov Evropeiskogo Soiuzu v Oblasti Stroitelstva: Mater. Nauch.-Metod. Seminara. Ch. 1* [Questions the Introduction of Design Standards and Standards of the European Union in the Field of Construction: Mater. Scientific-Method. Workshop, Minsk, 29 Maia 2012 g. Part 1]. Minsk, BNTU, 231–240 (in Russian).
 7. TKP 45-1.02-298–2014. Construction. Pre-Design Documentation. Structure and Plan of Development. Minsk, Minstroyarkhitektura, 2014, 49 (in Russian).
 8. Zemlyakov G. V., Kostikova G. D. (2013) Analysis for Development of Main Approaches to Qualitative Evaluation Design Solutions in Respect of Residential Buildings *Voprosy Vnedreniia Norm Proektirovaniia i Standartov Evropeiskogo Soiuzu v Oblasti Stroitelstva: Mater. Nauch.-Metod. Seminara. Ch. 1* [Questions the Introduction of Design Standards and Standards of the European Union in the Field of Construction: Mater. Scientific-Method. Workshop, Minsk, 22 Maia 2013 g. Part 1]. Minsk, BNTU, 221–231 (in Russian).
 9. Gerasimov V. V. (2001) *Methodological Principles on Organization of Designing for Residential Construction Objects*. Novosibirsk. 34 (in Russian).
 10. Kalinin P. A. (2002) *Organizational and Engineering-Technological Provision for Qualitative Construction of Residential Buildings*. Moscow. 22 (in Russian).
 11. Kuznetsova E. V. (2000) *Models and Methods for Evaluation of Technological Effectiveness for Construction Projects*. Saint-Petersburg. 26 (in Russian).
 12. Diachkova O. N. (2009) *System Evaluation of Technological Parameters for Construction of Residential Multi-Storey Buildings*. Saint-Petersburg, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering Publishing House. 146 (in Russian).
 13. Gusakova E. A. (1993) *Organizational and Technological Evaluation of Structural and Spatial Concept for Industrial Buildings at Designing Stage*. Moscow. 18 (in Russian).
 14. Pavlov I. D., Harutyunyan I. A., Kaplunskaya M. A. (2006) Designing and Technological Aspects for Evaluation of Design Solutions for Architectural and Bionic Systems. *Kommunalnoe Khoziaistvo Gorodov. Seriya: Tekhnicheskie Nauki* [Urban Municipal Structures. Series: Engineering Sciences], 76, 170–175 (in Russian).
 15. Presnyakov N. I. (2000) Virtual Construction Objects. *Sbornik Nauch. i Pedagog. Trudov Kafedry SAPR* [Collected Book of Scholarly and Pedagogical Works “Computer Aided Engineering System” Department]. Moscow, MGSU [Moscow State University of Civil Engineering] Publishing House, 38 (in Russian).
 16. Luzganov N. A. (2006) *Organizational and Technological Designing of Construction and Reconstruction of Object While Using its Virtual Model*. Moscow. 18 (in Russian).
 17. Fakhratov M. A. (2004) *Competitive Organizational and Technological Solutions for Reconstruction and Modification of Objects under Conditions of Technogenic Impact*. Moscow. 46 (in Russian).
 18. Sheina S. G. (2008) *Methodology for Strategic Management of Technical State Pertaining to Residential Stock While Using Simulation and Optimization of Organizational and Technological Solutions*. Rostov-on-Don. 49 (in Russian).
 19. Frolov K. A. (2011) *Evaluation of Variants for Design Solutions at Initial Design Stage*. Moscow. 22 (in Russian).
 20. Gorban A. N., Dunin-Barkovskii V. L., Kirdin A. N., Novikov E. A. (1998) *Neuroinformatics*. Novosibirsk, Nauka. Sib. branch of RAS. 295 (in Russian).
 21. Artificial Neural Network. *Wikipedia*. Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>. (Accessed 15 March 2016) (in Russian).
 22. *Forecasting System on the Basis of Neural Networks in Industry*. Available at: <http://habrahabr.ru/post/171019/>. (Accessed 15 March 2016) (in Russian).
 23. Terekhov S. A. (1998) *Lectures on Theory and Applications of Artificial Neural Networks*. Available at: http://alife.narod.ru/lectures/neural/Neu_index.htm. (Accessed 15 March 2016) (in Russian).
 24. Kruglov V. V., Borisov B. V. (2001) *Artificial Neural Network. Theory and Practice*. Moscow, Publishing House “Goryachaya Liniya – Telekom” [Hot Line – Telecom]. 382 (in Russian).
 25. Ward-Type Neural Network. *Wikipedia*. Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (Accessed 15 March 2016) (in Russian).

Received: 29.02.2016

Accepted: 03.05.2016

Published online: 29.11.2016

DOI: 10.21122/2227-1031-2016-15-6-493-503

УДК 539.3

Расчет жесткой стенки в упругой весоной полуплоскости

К. В. Дмитриева¹⁾¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)© Белорусский национальный технический университет, 2016
Belarusian National Technical University, 2016

Реферат. Проведен анализ напряженно-деформированного состояния жесткой стенки в упругой весоной полуплоскости с ломаным контуром. Для этого решена вспомогательная задача по определению перемещений в упругой весоной четвертьплоскости. При помощи метода Ритца получены формулы для определения перемещений границ упругого плоского клина с учетом его собственного веса. На основании данных выражений разработан алгоритм определения перемещений границ щели в упругой весоной полуплоскости с контуром ломаного очертания. Аналитический расчет жесткой вертикальной стенки, находящейся в упругой весоной полуплоскости под действием горизонтальной нагрузки, проведен двумя способами: методом Б. Н. Жемочкина и методом конечных разностей. В постановке задачи упругая полуплоскость считается моделью грунтового основания, следовательно, на контакте стенки с упругим основанием могут возникать только сжимающие нормальные напряжения. Такая предпосылка предполагает возникновение разрывов сплошности грунтовой среды, а для стенки приводит к возникновению двух точек раздела граничных условий. Отыскание границ областей контакта стенки с упругой полуплоскостью, которые заранее не известны, проводили итерационным путем, на каждом шаге которого задавали положение точек раздела граничных условий и записывали систему канонических уравнений соответствующего метода. Если на контакте «стенка – основание» появлялись растягивающие напряжения и/или происходило перекрытие граней щели, то осуществляли переход к следующей итерации. Анализ полученных результатов показывает, что эпюры изгибающих моментов и поперечных сил в сечениях жесткой стенки в ломаной весоной полуплоскости незначительно отличаются от таких же эпюр, построенных для жесткой стенки в упругой невесоной полуплоскости. Проведена верификация результатов аналитического расчета с результатами, полученными при помощи ПК «Лира 9.6», реализующего метод конечных элементов. Результаты расчета для жесткой стенки в упругой весоной полуплоскости, полученные аналитическими методами, качественно согласуются с результатами расчета на ПК «Лира 9.6».

Ключевые слова: контактная задача, плоская деформация, метод Жемочкина, конструктивная нелинейность

Для цитирования: Дмитриева, К. В. Расчет жесткой стенки в упругой весоной полуплоскости / К. В. Дмитриева // *Наука и техника*. 2016. Т. 15, № 6. С. 493–503

Analysis of Rigid Wall in Elastic Weighty Half-Plane

К. V. Dmitrieva¹⁾¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. A stress-strain analysis of a rigid wall in an elastic weighty half-plane with a broken outline has been carried out in the paper. For this purpose we have solved an auxiliary problem on determination of displacements in an elastic weighty quarter-plane. Formulae for determination of boundary displacements in elastic flat wedge with due account of its own weight have been derived with the help of the Ritz method. An algorithm for determination of crack boundary displacements in an elastic weighty half-plane with a broken outline has been developed on the basis of the expression data. An analytical calculation of a rigid vertical wall located in an elastic weighty half-plane under the influence of a horizontal load has been made by two methods: the Zhemochkin's method and a finite difference method. In the problem statement, therefore only compressive normal stresses can arise on the connection of the wall with the elastic base.

Адрес для переписки

Дмитриева Ксения Владимировна
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 150,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 267-98-65
SM@bntu.by

Address for correspondence

Dmitrieva Ksenia V.
Belarusian National Technical University
150 Nezavisimosty Ave.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 267-98-65
SM@bntu.by

Such an assumption implies occurrence of discontinuities in soil medium, and as for the wall it leads to an emergence of two dividing points for boundary conditions. Determination of contact boundaries for the wall with the elastic half-plane which are not known in advance has been performed iteratively. At every step of the determination we have set a position of dividing points for boundary conditions and written down a system of canonical equations for a relevant method. If tensile stresses appear and/or overlapping of the crack edges occurs in “wall-base” contact then we have proceeded to the next iteration. An analysis of the obtained results shows that diagrams of bending moments and shear forces in sections of the rigid wall within a broken weighty half-plane slightly differ from the same diagrams which are constructed for a rigid wall in an elastic weightless half-plane. A verification of analytical calculation results with the results obtained while using the LIRA 9.6 software complex has been carried out in the paper. In this case the LIRA complex implements a finite element method. Calculation results for the rigid wall in an elastic weighty half-plane that have been obtained by analytical methods, are qualitatively consistent with the “Lira 9.6” calculation results.

Keywords: contact problem, plane strain, Zhemochkins method, constructive nonlinearity

For citation: Dmitrieva K. V. (2016) Analysis of Rigid Wall in Elastic Weighty Half-Plane. *Science & Technique*. 15 (6), 493–503 (in Russian)

Контактные задачи представляют одну из важнейших областей современной механики деформируемого твердого тела. Необходимость совместных расчетов основания и взаимодействующих с ним конструкций заложена в нормативных документах и актуальна не только для уникальных объектов, но и для рядовых зданий и сооружений. Учет контактных взаимодействий позволяет повысить точность расчета и обеспечить надежность конструкций. Однако в практике проектирования еще довольно сильна инерция раздельных расчетов контактирующих конструкций. Например, при решении задач контактного взаимодействия грунтового массива с конструкциями инженерных сооружений расчет, как правило, выполняется отдельно для подземных и надземных частей, а взаимодействие происходит посредством использования коэффициентов постели. Вместе с тем распределение контактных напряжений зависит от жесткости, формы и размеров контактирующего сооружения и от податливости основания.

Существующие в настоящее время программные комплексы, основанные на методе конечных элементов (МКЭ), позволяют решать задачи в линейной постановке даже с огромным количеством степеней свободы. Нелинейные же задачи контактного взаимодействия, как правило, имеющие внутренним циклом точное решение линейной задачи, требуют чрезмерно большого количества времени по сравнению с линейными задачами, что обусловлено математической сложностью поставленных задач. Проблемы в области нелинейной постановки контактных задач связаны не только с отсутствием программы, удобной для совместного расчета конструкций и основания. Более существенные трудности связаны с чело-

веческим фактором: на практике зачастую пользователи программных средств, позволяющих быстро получить впечатляющий результат, выполняют однократный расчет, не делая проверку аналитическими решениями, хотя отказ от аналитических методов расчета, апробированных многолетней практикой, – грубая ошибка [1]. Сегодня большое количество научных работ посвящается не столько изучению контактных взаимодействий, сколько изучению того, как работают конечно-элементные программы при различных постановках задач. Поэтому представляются важными обязательная верификация результатов численных расчетов с соответствующими аналитическими решениями, выполнение нескольких сопоставительных расчетов, учитывающих влияние различных факторов. Цель настоящей работы – аналитический расчет методом Б. Н. Жемочкина и методом конечных разностей (МКР) жесткой стенки, заглубленной в упругое весомое основание, сопоставление и верификация результатов аналитического расчета с результатами расчета, полученными при помощи ПК «Лира 9.6».

В [2] приведены исследование взаимодействия ограждения котлована и грунтового массива в натурных условиях и оценка достоверности современных инженерных и численных методов расчета раскрепленных ограждений котлованов в конкретных инженерно-геологических условиях. Такое сравнение данных экспериментальных исследований с результатами расчетов, проведенных различными методами, показало, что существующие методы расчета ограждений приводят к большому разбросу результатов для напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкции ограждения. Расхождение с данными наблюдений по величинам максимальных горизонтальных пере-

мещений ограждающего шпунта составляло от 3 до 17 % для моделей, реализованных при помощи МКЭ. При использовании нормативных методов расчета расхождение с опытными данными оказывалось значительно больше.

В [3] задача взаимодействия анкерных конструкций «стена в грунте» с грунтовым массивом в линейной и нелинейной постановках решена с применением МКЭ. Проведенные расчетные исследования показывают, что начальное напряженное состояние грунта от сил собственного веса имеет большое влияние лишь для определения перемещений сечений стены и боковых давлений грунта. На характер же эпюр поперечных сил и изгибающих моментов в стене вес грунта не оказывает заметного влияния.

Также по методу конечных элементов рассчитывалась гибкая стенка, погруженная в грунт [4]. При этом основание представлялось в виде невесомой линейно-деформируемой среды. Анализ результатов расчета совместной работы стенки и грунтового основания позволяет сделать вывод, что учет разрыва сплошности среды, т. е. образование щели по контакту стенки и грунта, играет существенную роль. В [5] получено решение аналогичной задачи с учетом собственного веса грунта. Однако в [4, 5] рассматривалась стенка в упругой полуплоскости с прямолинейным контуром. В настоящей статье автор предлагает решение для стенки, находящейся в более общих граничных условиях, – очертание полуплоскости предполагается в виде ломаного контура (рис. 1).

Для расчета жесткой стенки в упругой весовой полуплоскости с ломаным очертанием границ (рис. 1) вначале решим вспомогательную задачу по определению перемещений границы четвертьплоскости, нагруженной силами собственного веса (рис. 2). Эти силы создают в четвертьплоскости гидростатическое напряженное состояние

$$\sigma_y = -\gamma_0 y, \quad (1)$$

где γ_0 – удельный вес грунта; y – координата, отсчитываемая от вершины клина.

Рассмотрим упругий однородный весовой клин с постоянными модулем упругости E_0 и коэффициентом Пуассона ν_0 , в котором действуют начальные напряжения, создаваемые собственным весом γ_0 материала клина. Расчет будем вести методом Ритца [6].

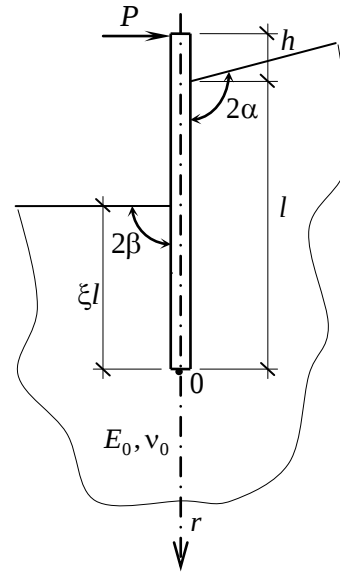


Рис. 1. Жесткая стенка в упругой весовой полуплоскости с ломаным очертанием границ

Fig. 1. Rigid wall in elastic weighty half-plane with broken outline of boundaries

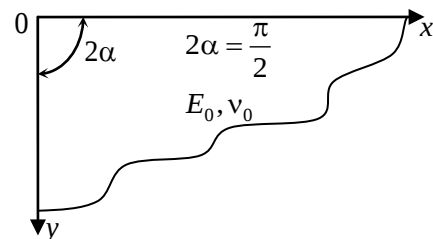


Рис. 2. Четвертьплоскость, нагруженная силами собственного веса

Fig. 2. Quarter-plane loaded by its own weight

Выражение для полной потенциальной энергии клина и действующей внешней нагрузки Ξ складывается из суммы потенциальной энергии деформаций упругой системы U и работы внешних объемных сил Π с обратным знаком [7]

$$\Xi = U - \Pi, \quad (2)$$

где

$$U = \iint_0^\infty \frac{1}{2} [\lambda(\epsilon_x + \epsilon_y)^2 + 2\mu(\epsilon_x^2 + \epsilon_y^2) + 2\mu\gamma_{xy}^2] dx dy; \quad (3)$$

$$\Pi = \gamma_0 \iint_0^\infty v \epsilon_y dx dy,$$

где v – вертикальные перемещения клина.

Удельная потенциальная энергия деформаций рассматриваемой системы [7]

$$U_1 = \frac{1}{2} [\lambda(\varepsilon_x + \varepsilon_y)^2 + 2\mu(\varepsilon_x^2 + \varepsilon_y^2) + 2\mu\gamma_{xy}^2], \quad (4)$$

где

$$G = \frac{(1 - \nu_0^2) l^2}{2E_0}; \quad \lambda = 2\mu \frac{\nu_0}{1 - 2\nu_0}; \quad \mu = \frac{E_0}{2(1 + \nu_0)}. \quad (5)$$

Задаемся перемещениями точек упругой четвертьплоскости:

$$u = e^{-\frac{x}{l} - \frac{y}{l}} \left(a_0 + a_1 \frac{x}{l} + a_2 \frac{y}{l} \right); \quad v = G \left(\frac{y}{l} \right)^2 + e^{-\frac{x}{l} - \frac{y}{l}} \left(b_0 + b_1 \frac{x}{l} + b_2 \frac{y}{l} \right), \quad (6)$$

где a_i , b_i – неизвестны постоянные.

Заметим, что при выборе координатных функций необходимо, чтобы строго выполнялись геометрические граничные условия. Удовлетворять же статическим граничным условиям не обязательно. При выборе координатных функций следует стремиться к тому, чтобы первый член ряда наиболее точно отражал характер искомого решения. Один из путей выбора координатных функций состоит в использовании координатных функций родственной и полностью определенной задачи, допускающей точное аналитическое решение. Отправной точкой для задания координатных функций для весомого клина будем считать аналогичную задачу для весомой полуплоскости. Первое слагаемое для v в (6) соответствует решению для упругой полуплоскости.

Для определения неизвестных коэффициентов разложений (6) необходимо найти выражение для полной потенциальной энергии рассматриваемой системы. Запишем выражения для линейных деформаций [6]:

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}; \quad \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}; \quad (7)$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}.$$

По теореме о минимуме потенциальной энергии деформации [7] искомым решением для перемещений u и v будет такое, при котором коэффициенты перед координатными функциями (6) сообщают минимум выражению (2). Это приводит к необходимости решения системы линейных алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial \mathcal{E}}{\partial a_k} = 0; \\ \frac{\partial \mathcal{E}}{\partial b_k} = 0, \end{cases} \quad (8)$$

где $k = \overline{0, 1, 2}$.

Для того чтобы получить выражение полной потенциальной энергии, меняем очередность выполняемых операций: вначале дифференцируем, а затем интегрируем выражение (2). Все математические выкладки осуществляются при помощи программы Wolfram Mathematica 8.

Получаем систему уравнения метода Ритца:

$$\begin{cases} 2(\lambda + 3\mu)a_0 - (\lambda + \mu)a_1 + (\lambda + \mu)a_2 + 2(\lambda + \mu)b_0 + (\lambda - \mu)(b_1 - b_2) - 15Gl = 0; \\ -2(\lambda + \mu)a_0 + 2(\lambda + 3\mu)a_1 - (\lambda + 3\mu)a_2 + 2(-\lambda + \mu)b_0 + (\lambda + \mu)b_2 = 0; \\ 2(\lambda + \mu)a_0 - (\lambda + 3\mu)a_1 + 2(\lambda + 3\mu)a_2 + 2(\lambda - \mu)b_0 + (\lambda + \mu)b_1 - 64Gl = 0; \\ 2(\lambda + \mu)a_0 + (-\lambda + \mu)a_1 + (\lambda - \mu)a_2 + 2(\lambda + 3\mu)b_0 + (\lambda + \mu)(b_1 - b_2) - 8(l^2\gamma_0 + 2G(\lambda + 2\mu)) = 0; \\ (\lambda - \mu)a_0 + (\lambda + \mu)a_2 + 2(\lambda + \mu)b_0 + (\lambda + 3\mu)(2b_1 - b_2) - 16(l^2\gamma_0 + 2G(\lambda + 2\mu)) = 0; \\ -2(\lambda - \mu)a_0 + (\lambda + \mu)a_1 - 2(\lambda + \mu)b_0 - (\lambda + 3\mu)(b_1 - b_2) - 16(l^2\gamma_0 + 2G(\lambda + 2\mu)) = 0. \end{cases} \quad (9)$$

Подставляем (5) в (9) и решаем систему:

$$a_0 = -\frac{l^2 \gamma_0 (30 - 21v_0 - 32v_0^2 + 13v_0^3 - 6v_0^4)}{E_0 (5 - 6v_0 + v_0^2)};$$

$$a_1 = \frac{2l^2 \gamma_0 (-30 + 21v_0 + 24v_0^2 - 25v_0^3 + 2v_0^4)}{E_0 (5 - 6v_0 + v_0^2)};$$

$$a_2 = \frac{2l^2 \gamma_0 (-10 + 7v_0 - 8v_0^2 - 19v_0^3 + 6v_0^4)}{E_0 (5 - 6v_0 + v_0^2)};$$

$$b_0 = -\frac{l^2 \gamma_0 (-50 + 35v_0 + 60v_0^2 - 27v_0^3 - 2v_0^4)}{E_0 (5 - 6v_0 + v_0^2)}; \quad (10)$$

$$b_1 = -\frac{2l^2 \gamma_0 (-50 + 35v_0 + 52v_0^2 - 31v_0^3 + 2v_0^4)}{E_0 (5 - 6v_0 + v_0^2)};$$

$$b_2 = -\frac{2l^2 \gamma_0 (-70 + 49v_0 + 76v_0^2 - 37v_0^3 + 6v_0^4)}{E_0 (5 - 6v_0 + v_0^2)}.$$

Для численного примера возьмем следующие исходные данные:

$$\gamma_0 = 18 \text{ кН/м}^3; \quad E_0 = 20 \text{ МПа}; \quad v_0 = \frac{1}{3}; \quad l = 8 \text{ м}.$$

После вычислений получим:

$$\frac{E_0}{l} a_0 = -11,4857; \quad \frac{E_0}{l} a_1 = -24,5714;$$

$$\frac{E_0}{l} a_2 = -10,6286;$$

$$\frac{E_0}{l} b_0 = 18,9143; \quad \frac{E_0}{l} b_1 = 38,9714; \quad \frac{E_0}{l} b_2 = 53,8286.$$

При этих значениях a_i и b_i ($i = \overline{0, 1, 2}$) абсолютные перемещения грани $x = 0$ показаны на рис. 3, а относительные перемещения — на рис. 4.

Рассмотрим щель в упругой весомой полуплоскости с ломаным, несимметричным очертанием контура (рис. 5), на грань которой действует единичная горизонтальная сила, равномерно распределенная по участку щели. Перемещения границы щели, к которой приложена внешняя нагрузка, определяются как разность перемещений в плоском клине от действия внешней нагрузки, включая собственный вес грунта, и перемещений, вызванных напряжениями на

контакте между клиньями. Перемещения же противоположной незагруженной границы щели определяются только перемещениями от напряжений на контакте между клиньями.

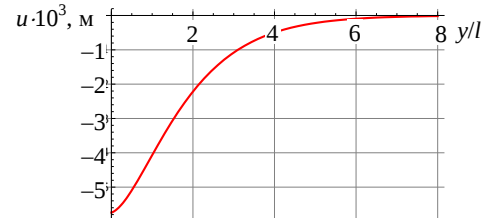


Рис. 3. Абсолютные перемещения грани упругой весомой четвертьплоскости

Fig. 3. Absolute displacements of elastic weighty quarter-plane side

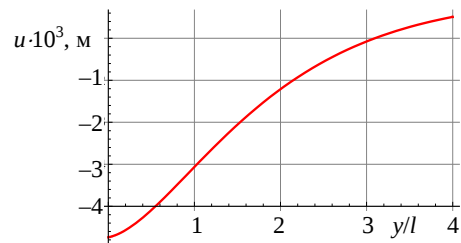


Рис. 4. Относительные перемещения грани упругой весомой четвертьплоскости

Fig. 4. Relative displacements of elastic weighty quarter-plane side

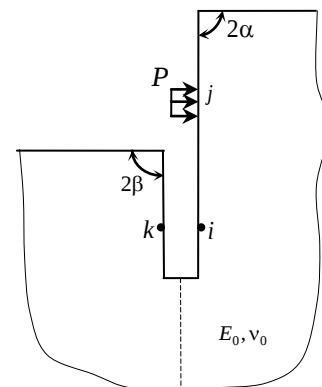


Рис. 5. Щель в упругом основании с ломаным контуром

Fig. 5. Crack in elastic foundation with broken outline

Для определения нормальных и касательных напряжений, возникающих между плоскими клиньями от действия равномерно распределенной нагрузки, нормальной к границе щели (рис. 5), заменяем сплошной контакт между плоскими клиновидными основаниями контактом в отдельных точках, введя связи Б. Н. Же-

мочкина [8]. Расчетная схема для такой задачи изображена на рис. 6.

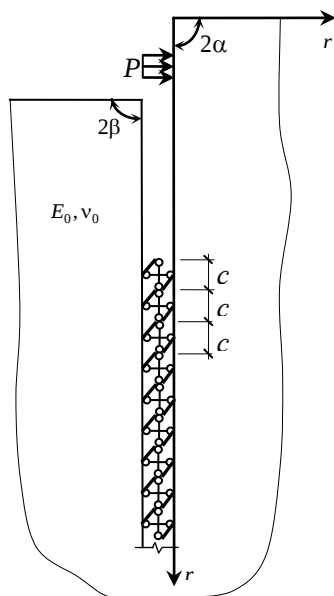


Рис. 6. Расчетная схема щели в упругом основании
Fig. 6. Calculated scheme of cracks in elastic foundation

Таким образом, усилия в связях Жемочкина моделируют нормальные и касательные напряжения, возникающие между плоскими клиньями. Система канонических уравнений для определения усилий в связях Б. Н. Жемочкина для расчетной схемы, изображенной на рис. 6, будет иметь вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta_{1,1}X_1 + \dots + \delta_{1,m-1}X_{m-1} + \delta_{1,m}X_m + \dots + \\ \quad + \delta_{1,2m}X_{2m} + \Delta_{1,p} = 0; \\ \dots \\ \delta_{m-1,1}X_1 + \dots + \delta_{m-1,m-1}X_{m-1} + \delta_{m-1,m}X_m + \dots + \\ \quad + \delta_{m-1,2m}X_{2m} + \Delta_{m-1,p} = 0; \\ \delta_{m,1}X_1 + \dots + \delta_{m,m-1}X_{m-1} + \delta_{m,m}X_m + \dots + \\ \quad + \delta_{m,2m}X_{2m} - \Delta_{m,p} = 0; \\ \dots \\ \delta_{2m,1}X_1 + \dots + \delta_{2m,m-1}X_{m-1} + \delta_{2m,m}X_m + \dots + \\ \quad + \delta_{n,2m}X_{2m} - \Delta_{2m,p} = 0, \end{array} \right. \quad (11)$$

где X_i – усилие в связи Жемочкина с номером i , причем индексы $i = \overline{1, m}$ соответствуют горизонтальным, а индексы $i = \overline{m+1, 2m}$ – вертикальным связям; m – количество учитываемых участков Б. Н. Жемочкина на контакте между

плоскими клиньями; $\delta_{i,j}$ – взаимное перемещение точек i границ двух упругих плоских клиньев от действия единичной силы, равномерно распределенной по участкам j граней клина, в направлении X_j ; $\Delta_{i,p}$ – перемещение точки i границы упругого плоского клина, складывающееся из перемещения Δ_{i,γ_0} , вызванного действием собственного веса грунта, и перемещения $\Delta_{i,p}^0$ от единичной равномерно распределенной внешней нагрузки, приложенной к области щели в основной системе, т. е.

$$\Delta_{i,p} = \Delta_{i,p}^0 + \Delta_{i,\gamma_0}. \quad (12)$$

Перемещения Δ_{i,γ_0} находятся по формулам (6).

Для определения коэффициентов при неизвестных системы (11) используются полученные ранее в [9] уточненные выражения для перемещения в невесомом плоском клине со свободными гранями от действия распределенной нагрузки. Отметим, что эти выражения дают не абсолютные, а относительные величины перемещений. Здесь необходимо сделать замечание о возможности применения принципа независимости действия сил при расчете стенки в упругом весоном основании. При расчете плит на весоной полуплоскости ранее в [10] была обоснована корректность применения принципа независимости действия дополнительных (возмущающих основное напряженное состояние весоной полуплоскости) сил при использовании (2). Справедливость этого принципа для равносжатых стержневых систем в теории устойчивости доказана в [11].

Рассмотрим стенку в грунте, которая находится в условиях плоской деформации (рис. 7). Соотношения между линейными размерами сечения стенки позволяют говорить об одномерной задаче. Также будем считать стенку абсолютно жесткой. Грунтовый массив моделируется линейно упругой средой с постоянными E_0, ν_0 . Удельный вес грунта будем считать постоянным и равным γ_0 . На стенку действует горизонтальная сосредоточенная сила, вызывающая ее перемещение. Необходимо определить напряжения на контакте между

стенкой и грунтом, перемещения и внутренние усилия в сечениях стенки.

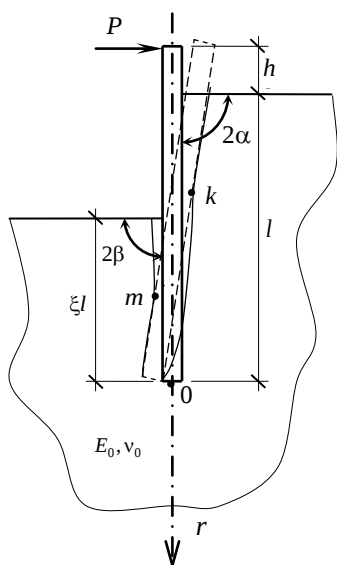


Рис. 7. Горизонтально нагруженная стенка в упругой среде

Fig. 7. Horizontally loaded wall in elastic medium

Будем считать стенку как бы вставленной в образованную в упругой полуплоскости щель (рис. 8). При повороте стенки вследствие невозможности возникновения растягивающих напряжений на контакте стенки и грунта края щели, возникающей в упругой полуплоскости, не будут смыкаться. На рис. 7 показано деформированное состояние стенки в упругой полуплоскости с двумя точками раздела граничных условий. Здесь пунктирной линией отмечено положение стенки после ее поворота, а тонкой – деформированная форма щели.

Указанные предпосылки позволяют перейти к расчету стенки по способу Б. Н. Жемочкина [8]. С этой целью разобьем область контакта между стенкой и упругой средой на участки длиной c и заменим контактом в отдельных точках, введя связи Б. Н. Жемочкина. При этом касательные напряжения в контактной зоне не учитываются. Следовательно, расчетная схема рассматриваемой задачи будет иметь вид, изображенный на рис. 8. Такая расчетная схема соответствует двум точкам нулевых напряжений k и m , или точкам раздела граничных условий. Положения этих точек (границ областей контакта стенки с упругой полуплоскостью) зара-

нее не известны, в чем и состоит сложность поставленной задачи.

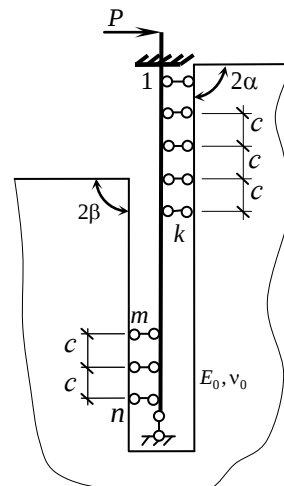


Рис. 8. Расчетная схема стенки в упругой полуплоскости

Fig. 8. Calculated scheme of wall in elastic half-plane

Основная система смешанного метода для расчета стенки с учетом разрыва сплошности основания приведена на рис. 9.

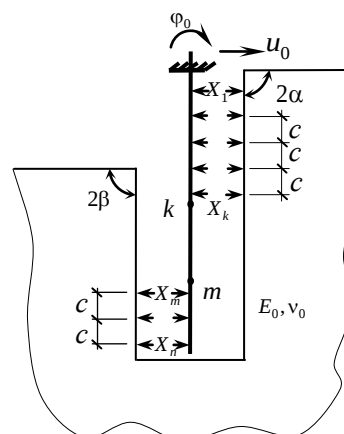


Рис. 9. Основная система смешанного метода для расчета стенки с учетом разрыва сплошности упругого основания

Fig. 9. Main system of mixed method for calculation of wall with due account of elastic foundation discontinuity

В качестве неизвестных берутся усилия во введенных односторонних связях Б. Н. Жемочкина, горизонтальное перемещение u_0 и угол поворота φ_0 вершины стенки на поверхности основания. Система канонических уравнений способа Б. Н. Жемочкина [8] для расчета стенки со свободной вершиной имеет вид:

$$\begin{cases}
\delta_{1,1}X_1 + \dots + \delta_{1,k}X_k + \delta'_{1,m}X_m + \dots + \delta'_{1,n}X_n + \varphi_0 \frac{c}{2} + u_0 = 0; \\
\dots \\
\delta_{k,1}X_1 + \dots + \delta_{k,k}X_k + \delta'_{k,m}X_m + \dots + \delta'_{k,n}X_n + \varphi_0 \frac{2k-1}{2}c + u_0 = 0; \\
\delta'_{m,1}X_1 + \dots + \delta'_{m,k}X_k + \delta_{m,m}X_m + \dots + \delta_{m,n}X_n - \varphi_0 \frac{2m-1}{2}c - u_0 = 0; \\
\dots \\
\delta'_{n,1}X_1 + \dots + \delta'_{n,k}X_k + \delta_{n,m}X_m + \dots + \delta_{n,n}X_n - \varphi_0 \frac{2n-1}{2}c - u_0 = 0; \\
-\frac{c}{2}X_1 - \dots - \frac{2k-1}{2}cX_k + \frac{2m-1}{2}cX_m + \dots + \frac{2n-1}{2}cX_n = Pa; \\
-X_1 - \dots - X_k + X_m + \dots + X_n = P,
\end{cases} \quad (13)$$

где X_i – усилие в связи Жемочкина с номером i ; u_0 – горизонтальное перемещение вершины стержня; φ_0 – угловое перемещение стержня на поверхности упругой среды; c – длина участка Б. Н. Жемочкина; $\delta_{i,j}$ – перемещение точки i стенки от действия равномерно распределенной по участку j единичной нагрузки X_j ($j = \overline{1, k}$); $\delta'_{i,j}$ – перемещение точки i стенки от действия равномерно распределенной по участку j единичной нагрузки X_j ($j = \overline{m, n}$).

Составим итерационный процесс, при котором меняется положение точек раздела граничных условий. При этом не должно происходить перекрытия правой и левой граней щели, очертание эпюры напряжений на контакте стенки и грани клина должно быть наиболее гладким, а напряжения в точках раздела граничных условий равны нулю. Эпюры изгибающих моментов и поперечных сил в сечениях стенки приведены на рис. 10.

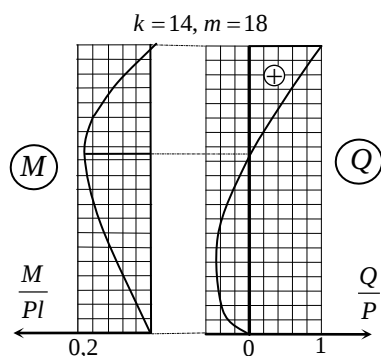


Рис. 10. Эпюры поперечных сил и изгибающих моментов
Fig. 10. Diagrams of shear forces and bending moments

Показатели, полученные при расчете жесткой стенки в случае учета собственного веса грунто-

вого основания и для невесомого упругого основания, сведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчета жесткой стенки
Results of rigid wall calculation

Расчет жесткой стенки	$M_{\max}, \text{кН} \cdot \text{м}$	$\frac{E_0}{1-\nu_0^2} \varphi_0$	$\frac{E_0}{1-\nu_0^2} u_0$	k m
В упругом весомом основании	74,5	81,88	10,54	14 18
В невесомом упругом основании	73,45	209,76	28,28	16 19

Выполним расчет поставленной задачи при помощи МКР для подтверждения полученных ранее результатов. Порядок расчета поставленной задачи при помощи МКР подробно изложен в [12]. Результаты расчета жесткой стенки в случае учета собственного веса грунтового основания и показатели, полученные по методу конечных разностей и по методу Б. Н. Жемочкина, сведены в табл. 2.

Произведем расчет поставленной задачи также при помощи ПК «Лира 9.6» [13]. Расчет выполняли при следующих исходных дан-

ных (рис. 11): $\alpha = \beta = \frac{\pi}{4}$; $\xi = 0,5$; $h = 0$; $P = 50$ кН;

$E_0 = 20$ МПа; $\nu_0 = \frac{1}{3}$. Упругая среда заменялась

расчетной областью ломаного контура (рис. 11), ограниченной по сторонам на расстоянии, равном трем длинам стенки [14]. Расчет жесткой стенки на статические нагрузки производили, как расчет плоской системы, состоящей из стержневых элементов и элементов балки-стенки.

Таблица 2

Сравнение результатов расчета для метода конечных разностей и метода Б. Н. Жемочкина

Comparison of calculation results for finite-difference and B. N. Zhemochkin methods

Метод	$M_{\max}$, кН·м	$\sigma_{\max}$, кН/м ²	$\frac{E_0}{1-\nu_0^2} \varphi_0$	$\frac{E_0}{1-\nu_0^2} u_0$
Конечных разностей	77,82	16,92	9,45	78,16
Б. Н. Жемочкина	74,5	17,9	10,54	81,88

При формировании конечно-элементной модели использованы следующие типы конечных элементов (рис. 12).

- Тип 1. Конечный элемент (КЭ) плоской фермы. Моделирует стержни, которыми заменяется контакт между стенкой и основанием.

- Тип 2. КЭ плоской рамы. Моделирует шпунтовую стенку.

- Тип 21. Прямоугольный КЭ плоской задачи (балка-стенка). Моделирует упругое основание.

- Тип 22. Треугольный КЭ плоской задачи (балка-стенка). Моделирует участок основания по граням щели.

Далее производили смену типа конечного элемента: КЭ типа 2 заменяли на КЭ типа 262 (двухузловой конечный элемент, моделирующий одностороннюю упругую связь между узлами [12]). На узлы по краям расчетной области накладывались связи, ограничивающие перемещения по осям Ox и Oz .

Анализ результатов расчета на ПК «Лира 9.6» и сопоставление с результатами расчета по методике автора показали, что в линейной постановке расположение точек нулевых напряжений получается одинаковым.

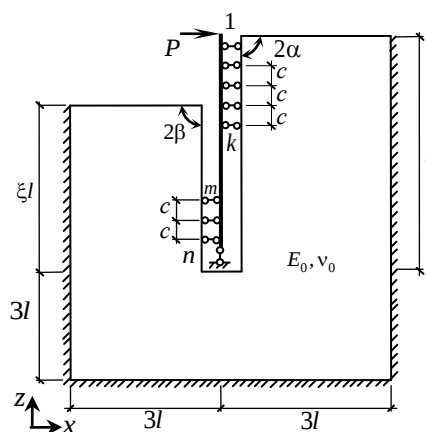


Рис. 11. Расчетная схема стенки в упругом основании

Fig. 11. Calculated scheme of wall in elastic foundation

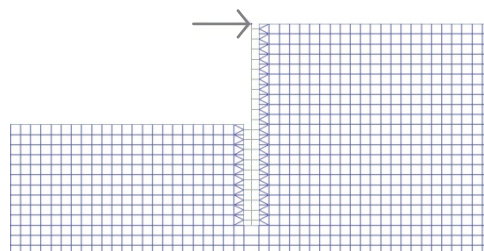


Рис. 12. Расчетная схема для программного комплекса «Лира 9.6» (фрагмент)

Fig. 12. Calculated scheme for "Lira 9.6" software complex (fragment)

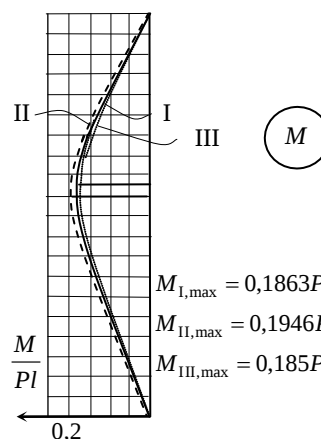


Рис. 13. Эпюра изгибающих моментов в шпунтовой стенке для результатов, полученных: I – по способу Б. Н. Жемочкина; II – по методу конечных разностей; III – при помощи ПК «Лира 9.6»

Fig. 13. Diagram of bending moments in sheet pile wall for results obtained while using: I – B. N. Zhemochkins method; II – finite -difference method; III – "Lira 9.6" software complex

ВЫВОДЫ

1. Перемещения грани упругой весомой четвертьплоскости с достаточной для инженерных расчетов точностью могут определяться по выражениям (6).

2. Эпюры изгибающих моментов и поперечных сил в сечениях жесткой стенки в ломаной весомой полуплоскости незначительно отличаются от таких же эпюр, построенных для жесткой стенки в упругой невесомой полуплоскости.

3. Результаты расчета для жесткой стенки в упругой весомой полуплоскости, полученные аналитическими методами, качественно согласуются с результатами расчета на ПК «Лира 9.6», реализующего метод конечных элементов. Расхождение по максимальным изгибающим моментам в сечениях стенки составляет не более 5 %.

4. Предложенный подход по расчету жесткой стенки в упругой весомой полуплоскости с ломаным очертанием контура может быть распространен на расчет для гибкой стенки с учетом ее физической нелинейности на основании более ранних разработок автора [15].

ЛИТЕРАТУРА

1. Шашкин, К. Г. Метод конечных элементов в геомеханике: современный взгляд / К. Г. Шашкин // Численные методы расчетов в практической геотехнике: сб. статей Междунар. науч.-техн. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2012. С. 76–86.
2. Сливец, К. В. Анализ совместной работы стенки и грунтового массива / К. В. Сливец, В. В. Богданов // Геотехника: научные и прикладные аспекты строительства надземных и подземных сооружений: межвуз. тематич. сб. тр. / под ред. Р. А. Мангушева [и др.]. СПб.: СПбГАСУ, 2008. С. 76–80.
3. Флайх Хасан Хасенин. Взаимодействие анкерных конструкций «стена в грунте» с грунтовым массивом / Хасан Хасенин Флайх. М., 2001. 193 с.
4. Лазарева, И. В. Расчет методом конечных элементов гибкой стенки, погруженной в грунт / И. В. Лазарева // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1976. № 2. С. 27–29.
5. Огранович, А. Б. Расчет фундаментной стенки на горизонтальную нагрузку с учетом разрыва сплошности основания / А. Б. Огранович, М. И. Горбунов-Посадов // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1966. № 3. С. 11–14.

6. Тимошенко, С. П. Теория упругости / С. П. Тимошенко, Дж. Гудьер. М.: Наука, 1975. 576 с.
7. Лурье, А. И. Теория упругости / А. И. Лурье. М.: Наука, 1970. 939 с.
8. Жемочкин, Б. Н. Практические методы расчета фундаментных балок и плит на упругом основании / Б. Н. Жемочкин, А. П. Сеницын. М.: Госстройиздат, 1962. 240 с.
9. Дмитриева, К. В. Перемещения в плоском клине со свободными гранями от действия распределенной нагрузки / К. В. Дмитриева, С. В. Босаков // НИРС-2003: VIII Республ. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. Минск: БНТУ, 2003. Ч. 4: Архитектура, строительство, транспортные коммуникации, аграрно-технические и аграрно-инженерные науки. С. 66.
10. Босаков, С. В. Расчет плит на весомой полуплоскости / С. В. Босаков // Известия Академии наук Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. 1997. № 1. С. 108–114.
11. Корноухов, Н. В. Избранные труды по строительной механике / Н. В. Корноухов. Киев: Изд-во Акад. наук УССР, 1963. 321 с.
12. Босаков, С. В. Конструктивно-нелинейный расчет горизонтально нагруженной жесткой стенки в упругой среде / С. В. Босаков, К. В. Дмитриева // Строительство и архитектура: материалы XI междунар. науч.-техн. межвуз. семинара «Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь», Брест, 25–27 ноября 2004 г. Брест: БрГТУ, 2004. Ч. 1. С. 121–126.
13. Программа «Лира 9.2». Руководство пользователя. Основы / Е. Б. Стрелец-Стрелецкий [и др.]. Киев: Изд-во «Факт», 2005. 140 с.
14. Горбунов-Посадов, М. И. Расчет конструкций на упругом основании / М. И. Горбунов-Посадов, Т. А. Маликова. М.: Стройиздат, 1973. 627 с.
15. Дмитриева, К. В. Расчет горизонтально нагруженной физически нелинейной стенки в упругой среде с учетом конструктивной нелинейности / К. В. Дмитриева // Строительная наука и техника. 2006. № 5. С. 31–36.

Поступила 04.07.2016

Подписана в печать 06.09.2016

Опубликована онлайн 29.11.2016

REFERENCES

1. Shashkin K. G. (2012) Finite Elements Method in Geomechanics: Modern Outlook. *Chislennyye Metody Raschetov v Prakticheskoy Geotekhnike: Sb. Statei Mezhdunar. Nauch.-Tekhn. Konf.* [Numerical Methods for Calculations in Practical Geotechnics: Collected Works of International Scientific-Research Conference]. Saint-Petersburg, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 76–86 (in Russian).
2. Slivets K. V., Bogdanov V. V. (2008) Collaboration Analysis of Wall and Soil Mass. *Geotekhnika: Nauchnye i*

- Prikladnye Aspekty Stroitelstva Nadzemnykh i Podzemnykh Sooruzhenii: Mezhvuz. Temat. Sb. Tr.* [Geotechnics: Scientific and Applied Aspects for Construction of Overhead and Underground Structures. Interuniversity Thematic Collection of Works]. Saint-Petersburg, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 76–80 (in Russian).
3. Hasan Hasenin Flayh (2001) *Interaction of Anchor Structures "Wall in the Ground" with Soil Mass*. Moscow. 193 (in Russian).
 4. Lazareva I. V. (1976) Calculation of Flexible Wall Dipped in the Ground While Using Finite Elements Method. *Osnovaniia, Fundamenty i Mekhanika Gruntov* [Basement, Foundation and Soil Mechanics], (2), 27–29 (in Russian).
 5. Ogranovich A. B., Gorbunov-Posadov M. I. (1966) Calculation of Foundation Wall for Horizontal Loading with Due Account of Discontinuity Aperture in Basement. *Osnovaniia, Fundamenty i Mekhanika Gruntov* [Basement, Foundation and Soil Mechanics], (3), 11–14 (in Russian).
 6. Timoshenko S. P., Goodier J. (1975) *Elastic Theory*. Moscow, Nauka. 576 (in Russian).
 7. Lurie A. I. (1970) *Theory of Elasticity*. Moscow, Nauka. 939 (in Russian).
 8. Zhemochkin B. N., Sinitsyn A. P. (1962) *Practical Methods for Calculation of Beams and Plates on Elastic Foundation*. Moscow, Gosstroyizdat. 240 (in Russian).
 9. Dmitrieva K. V., Bosakov S. V. (2003) Displacement in Flat Wedge with Free Edges Due to the Action of the Distributed Loading. *NIRS-2003: VIII Respubl. Nauch.-Tekhn. Konf. Studentov i Aspirantov. Ch. 4: Arkhitektura, Stroitelstvo, Transportnye Kommunikatsii, Agrarno-Tekhnicheskie i Agrarno-Inzhenernye Nauki* [NIRS-2003 [Scientific-Research Works of Students]: VIII Republican Scientific-Research Conference of Undergraduate and Postgraduate Students. Part 4: Architecture, Construction, Transport Communication, Agriculture-Technical and Agriculture-Engineering Sciences]. Minsk: BNTU [Belarusian National Technical University], 66 (in Russian).
 10. Bosakov S. V. (1997) Calculations for Plates on Loaded Half-Plane. *Vestsi Akademii Navuk Belarusi. Ser. Fiz.-Tekhn. Nauk.* [Proceedings of the Academy of Sciences of Belarus. Series of Physical-Engineering Sciences], (1), 108–114 (in Russian).
 11. Kornoukhov N. V. (1963) *Selected Works on Construction Mechanics*. Kiev, Publishing House of UkSSR [Ukrainian Soviet Socialist Republic] Academy of Sciences. 321 (in Russian).
 12. Bosakov S. V., Dmitrieva K. V. (2004) Design-Nonlinear Calculation of Horizontally Loaded Rigid Wall in Elastic Medium. *Stroitelstvo i Arkhitektura: Mater. XI Mezhdunar. Nauch.-Tekhn. Mezhvuz. Seminara «Perspektivy Razvitiia Novykh Tekhnologii v Stroitelstve i Podgotovke Inzhenernykh Kadrov Respubliki Belarus»*. Ch. 1 [Construction and Architecture: Proceedings of XI International Scientific and Technical Inter-University Workshop "Development Prospects of New Technologies in Construction and Training of Engineering Personnel in the Republic of Belarus". Part 1]. Brest, Brest State Technical University, 121–126 (in Russian).
 13. Strelets-Streletskii E. B., Bogovis V. E., Genzerskii Iu. V., Geraimovich Iu. D., Marchenko D. V., Titok V. P., Gorodetskii A. S. (2005) *Programme "Lira 9.2". Operating Manual. Fundamentals*. Kiev, Publishing House "Fakt". 140 (in Russian).
 14. Gorbunov-Posadov M. I., Malikva T. A. (1973) *Calculation of Structures on Elastic Basement*. Moscow, Stroyizdat. 627 (in Russian).
 15. Dmitrieva K. V. (2006) Calculation of Horizontally Loaded and Physically Non-Linear Wall in the Elastic Medium with Due Account of Constructive Nonlinearity. *Stroitel'naya Nauka i Tekhnika* [Construction Science and Equipment], (5), 31–36 (in Russian).

Received: 04.07.2016

Accepted: 06.09.2016

Published online: 29.11.2016

Теоретико-методические основы развития национальной логистической системы в Республике Беларусь

Докт. экон. наук, проф. Р. Б. Ивуть¹⁾, аспиранты А. С. Зиневич¹⁾, В. А. Скориков²⁾

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

²⁾Белорусский государственный экономический университет (Минск, Республика Беларусь)

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

Реферат. Представлены результаты исследования, цель которого – формирование теоретико-методических основ в рамках научного обеспечения процессов дальнейшего развития национальной логистической системы Республики Беларусь. Актуальность исследования обусловлена тем, что в настоящее время внедрение концепции логистики и формирование оптимальной инфраструктуры для ее реализации выступают ключевыми факторами экономического развития Беларуси как транзитной страны. При этом по темпам развития логистической деятельности в республике в настоящее время наблюдается некоторое отставание от сопредельных стран, о чем свидетельствует динамика положения Беларуси в международных рейтингах (в частности, по индексу LPI). Преодоление указанного отставания требует повышения конкурентоспособности объектов логистической инфраструктуры страны на международном рынке. Это, в свою очередь, представляется возможным за счет четкого формулирования и соблюдения принципов эффективного функционирования макрологистической системы, а также повышения качества логистического проектирования путем применения экономико-математических моделей и методов. Предложенный авторский подход состоит в дифференциации общих принципов развития логистики, характерных для логистических систем любого уровня, и специфических принципов развития логистической системы макроуровня, связанных с обеспечением ее транзитной привлекательности для международных перевозчиков. В исследовании также систематизированы модели определения оптимального месторасположения объектов логистической инфраструктуры. Особое внимание уделено методическим основам анализа функционирования транспортных терминалов в составе логистических центров на этапах их проектирования и эксплуатации. Разработанные теоретико-методические рекомендации носят универсальный характер и могут быть использованы при проектировании объектов логистической инфраструктуры различного назначения и функциональности (транспортно-логистических и оптово-логистических центров и т. д.).

Ключевые слова: национальная логистическая система, функционирование, логистические услуги, логистический центр, мультимодальность, трансграничная логистика, экономико-математическое моделирование, транспортный терминал

Для цитирования: Ивуть, Р. Б. Теоретико-методические основы развития национальной логистической системы в Республике Беларусь / Р. Б. Ивуть, А. С. Зиневич, В. А. Скориков // *Наука и техника*. 2016. Т. 15, № 6. С. 504–510

Theoretical and Methodological Fundamentals for Development of National Logistics System in the Republic of Belarus

R. B. Ivut¹⁾, A. S. Zinevich¹⁾, V. A. Skorikov²⁾

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

²⁾Belarus State Economic University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. The paper presents results of the research and its objective is formation of theoretical and methodological fundamentals in the framework of scientific support for further development of the national logistics system in the Republic of Be-

Адрес для переписки

Ивуть Роман Болеславович
Белорусский национальный технический университет
ул. Я. Коласа, 12,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 292-75-31
eut_atf@bntu.by

Address for correspondence

Ivut Roman B.
Belarusian National Technical University
12 Ya. Kolasa str.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 292-75-31
eut_atf@bntu.by

larus. Significance of the research is justified by the fact that at present an introduction of the logistics concept and formation of optimal infrastructure for its implementation are considered as key factors for economic development of Belarus as a transit country. At the same time progress rate in development of the logistic activities in the Republic is currently slightly lower in comparison with the neighboring countries and this fact is also proved by the dynamics of Belarus position in international rankings (for example, according to the LPI index). Overcoming these gaps requires improved competitiveness of national logistics infrastructure objects in the international market. In its turn, it seems to be possible due to clear formulation and observance of principles that ensure efficient functioning of macro logistics system and quality improvement in logistics design while applying economic and mathematical models and methods. The proposed auctorial approach consists in differentiation of general principles for logistics development which are typical for logistics systems of any level and specific principles for development of macro level logistical system. The principles are related to improvement of the system transit attractiveness for international freight carriers. The research has made it possible to systematize models for determining optimal location of logistics infrastructure facilities. Particular attention has been paid to methodological fundamentals for analysis of transport terminal operation as part of logistics centers both at stages of their designing and operation. The developed theoretical and methodological recommendations are universal and can be used while designing logistics infrastructure facilities for various purposes and functions (including transport-logistics and trade-logistics centers etc.).

Keywords: national logistics system, functioning, logistic service, logistics centre, multimodality, transborder logistics, economic and mathematical modelling, transport terminal

For citation: Ivut R. B., Zinevich A. S., Skorikov V. A. (2016) Theoretical and Methodological Fundamentals for Development of National Logistics System in the Republic of Belarus. *Science & Technique*. 15 (6), 504–510 (in Russian)

Введение

В настоящее время в Республике Беларусь одним из приоритетных направлений в рамках проводимой экономической политики выступает активизация развития логистической системы. В современных условиях, связанных с прогрессирующей экономической глобализацией и усилением интеграции в области транспорта и торговли, во многих странах мира проявляется тенденция, связанная с возрастанием значимости логистических процессов. Как показывает мировой опыт, при переходе к рыночным отношениям управление материальными потоками приобретает статус одной из наиболее важных функций экономической жизни [1]. В условиях трансформационного перехода экономики Беларуси на рыночный инновационный путь развития внедрение логистического подхода к управлению товародвижением на макроуровне стало фактором, обеспечивающим извлечение экономических выгод из географического расположения страны на пути между Европой и Азией в рамках реализации транзитного и логистического потенциала республики.

Проблема проектирования и развития национальной логистической системы нашла свое отражение в исследованиях многих зарубежных и отечественных ученых и специалистов. Наибольший вклад в ее решение внесли работы следующих авторов: в западной научной литературе – D. J. Bowersox и D. J. Closs и другие; в российской научной литературе – Б. А. Аникин, В. А. Гудков, Л. Б. Миротин, Ю. М. Неруш,

В. И. Сергеев, В. В. Щербаков и другие; в белорусской научной литературе – И. А. Еловой, П. Г. Никитенко и др. Этими авторами исследуются различные аспекты развития теории и практики транспортной логистики, связанные с оптимизацией работы транспорта в рамках логистических систем. Тем не менее происходящие сегодня изменения во внешней среде диктуют необходимость дальнейшего формирования теоретико-методических основ развития логистической системы Беларуси.

Основная часть

Функционирование логистической системы Республики Беларусь регламентировано рядом технических нормативно-правовых актов и программных документов. Анализ теоретических положений указанных документов свидетельствует, с одной стороны, о необходимости конкретизации понятия логистической системы на уровне и в масштабах страны (т. е. так называемой национальной логистической системы (НЛС)) и, с другой стороны, об актуальности четкого формулирования принципов ее эффективного функционирования для их соблюдения.

Термин «национальная логистическая система» не нашел четкого трактования в нормативных документах и недостаточно широко освещен в отечественной научной литературе по логистике. В развитие идеи, изложенной в [2], предлагаемый авторский теоретический подход предполагает рассмотрение НЛС как системы

управления цепями поставок в масштабах страны, базирующейся на сети логистических центров различной степени функциональности и предполагающей интеграцию всех участников транспортно-логистической деятельности в целях достижения конкурентных преимуществ.

Следующим элементом формируемых теоретических основ выступает предлагаемый подход к формулированию принципов функционирования НЛС, в соответствии с которым указанные принципы укрупненно подразделяются на две группы:

1) общие принципы функционирования, присущие всем логистическим системам:

- системность – рассмотрение НЛС, с одной стороны, как единого целого, а с другой – как части более крупной системы (глобальной логистической сети), в которой анализируемый объект находится в определенных отношениях с остальными системами;

- научность – усиление расчетного начала при проектировании и развитии НЛС на всех стадиях управления потоками;

- иерархичность – иерархическое построение НЛС, при котором имеют место подчинение нижестоящих элементов вышестоящим по строго определенным ступеням и упорядоченная циркуляция информации от низшего уровня к высшему;

- конкретность – четкое определение конкретного результата как цели перемещения потока по звеньям НЛС в соответствии с техническими, экономическими и иными требованиями;

- целостность – реализация свойства НЛС выполнять заданную целевую функцию, реализуемую только системой в целом, а не отдельными ее элементами;

- интегративность – исследование и учет искоемых качеств, присущих лишь НЛС в целом, но не свойственных ни одному из ее элементов в отдельности;

- эффективность – способность НЛС при заданном уровне развития рыночных отношений и технологий при располагаемых элементах данной системы (логистические центры, терминалы, операторы и т. д.) достичь принципиально возможного минимума логистических издержек;

- гибкость (адаптивность) – встроенность в НЛС механизмов для прогнозирования изме-

нений в состоянии внешней экономической среды и выработки адекватных им действий;

- надежность – использование современных средств перемещения и управления движением в целях обеспечения безотказности и безопасности при продвижении потоков по НЛС;

- превентивность – реализация так называемой превентивной концепции управления [3], предупреждающей возникновение отклонений, диспропорций и их отрицательных воздействий на функционирование НЛС;

2) специфические принципы функционирования, характерные непосредственно для НЛС и связанные с обеспечением ее транзитной привлекательности для международных перевозчиков, грузовладельцев и иных субъектов рынка:

- комплексность – обеспечение высокой комплексности оказываемых в рамках НЛС транспортно-логистических услуг и развитие института аутсорсинга на логистическом рынке;

- мультимодальность – создание широких возможностей обслуживания мультимодальных грузоперевозок на транспортно-логистических центрах в составе НЛС страны;

- трансграничность (принцип трансграничной логистики) – создание в рамках НЛС трансграничных транспортно-логистических центров для терминальной обработки транзитных и внешнеторговых грузопотоков в рамках концепций транспортной и таможенной логистики;

- международное сотрудничество – расширение практики взаимодействия инфраструктурных объектов НЛС страны с объектами зарубежной логистической инфраструктуры в целях их интеграции в международную транспортно-логистическую сеть [4].

Учет и контроль соблюдения указанных принципов при функционировании логистической инфраструктуры в Беларуси требуют регулярного и детального экономического анализа состояния НЛС страны. По результатам анализа, представленного в [5–8], дальнейшее развитие сети логистических центров в Беларуси должно осуществляться с учетом исправления допущенных ранее отдельных просчетов планирования. К числу существующих и потенциальных проблем развития НЛС следует отнести:

- неравномерное размещение объектов логистической инфраструктуры в стране;
- недостаточно глубокую проработку концепции логистического центра, зачастую без должного анализа грузопотоков и проработки пакета услуг;
- недостаточную комплексность предоставляемых услуг и нерациональную специализацию логистических центров;
- отсутствие подъездных железнодорожных путей и недостаточное внимание водному и воздушному транспорту как препятствий на пути реализации принципа мультимодальности;
- нормативно-правовые барьеры, обусловленные спецификой разрешительной системы перевозок грузов в странах ЕАЭС, ограничениями таможенного законодательства и др.

Решение указанных проблем актуализирует задачу по разработке элементов методического обеспечения развития НЛС. В общем виде процесс проектирования объектов указанной системы – логистических центров (ЛЦ) – должен осуществляться в соответствии с методической рекомендацией, логически представленной на рис. 1 [4].

С учетом существующей практики формирования логистической инфраструктуры в республике наиболее актуально развитие методических основ процессов логистического проектирования, в рамках которого решается задача по рациональному размещению инфраструктурных объектов. Выбор месторасположения инфраструктурных объектов, или логистических мощностей (англ. logistics facilities), регламентируется множеством факторов [8], ко-

торые могут быть логически сгруппированы следующим образом:

- географические (наличие необходимых земельных участков в регионе);
- рыночные (стоимость земельных участков, удаленность от конкурирующих объектов, расположение относительно рынков снабжения либо сбыта);
- инфраструктурные (доступность транспортных коммуникаций);
- экономико-правовые (возможности финансирования в регионе, специфика налогообложения, необходимость экологических разрешений);
- социально-экономические (трудовые ресурсы, покупательская способность).

Рациональное расположение ЛЦ должно основываться на одной из существующих моделей. Классификация принятых в научной литературе моделей определения оптимального месторасположения ЛЦ представлена на рис. 2.

К первой группе относятся модели определения оптимального размещения объектов логистической инфраструктуры, основанные на минимизации общих затрат, связанных с доставкой товаров в ЛЦ, грузопереработкой и поставкой продукции до конечного потребителя, на единицу груза. Сначала определяются все возможные варианты размещения ЛЦ на заданной территории. Затем для каждого варианта рассчитываются суммарные издержки, связанные со схемой доставки товара от поставщика до потребителя, и определяется месторасположение ЛЦ с минимумом затрат [8].

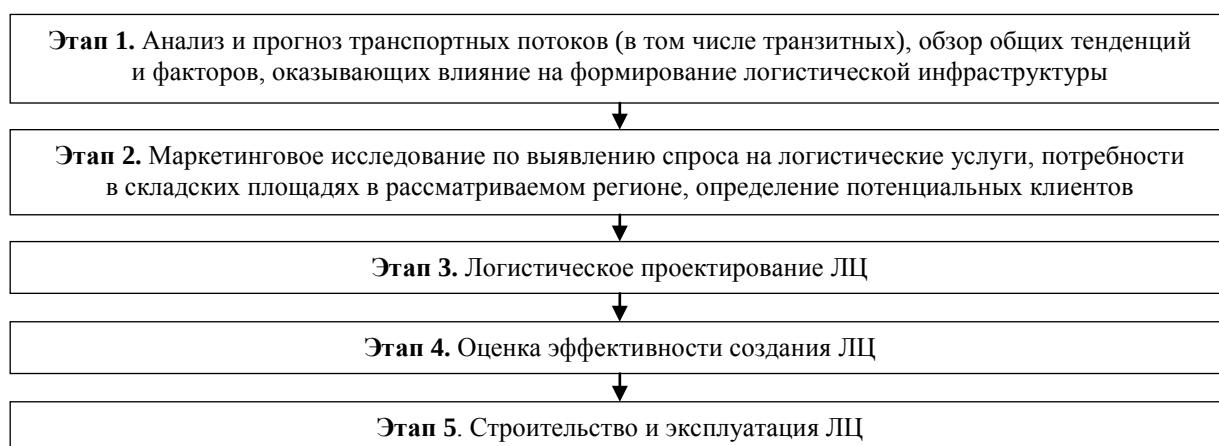


Рис. 1. Последовательность действий по формированию логистической инфраструктуры страны

Fig. 1. Sequence of activities for country's logistics infrastructure formation

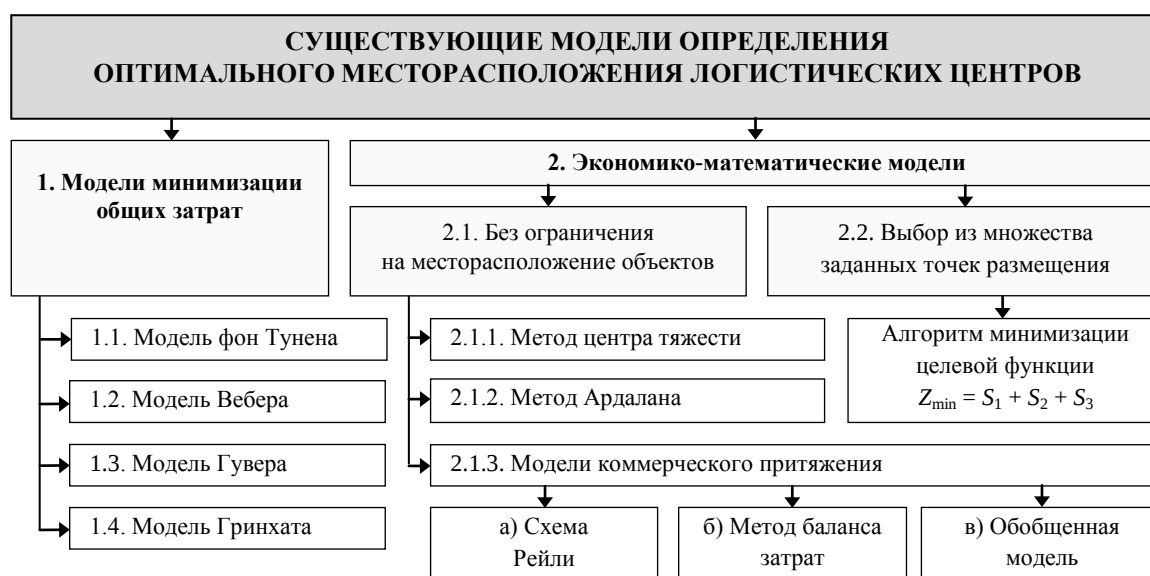


Рис. 2. Классификация моделей определения оптимального месторасположения логистических центров

Fig. 2. Classification of models for optimal location of logistics centres

Ко второй группе относятся экономико-математические модели, применяемые при определении оптимального месторасположения объектов логистической инфраструктуры общего назначения, которые в свою очередь делятся на два типа: модели без ограничений на месторасположение объектов и модели выбора из множества заданных точек размещения. К моделям первого типа (рис. 2, группа 2.1) относятся:

1) метод центра тяжести – выбор места под ЛЦ осуществляется на основе координатной сетки путем минимизации транспортных расходов на различных этапах доставки груза. При этом координата оптимального расположения (в случае доставки грузов от m поставщиков до n потребителей через ЛЦ) рассчитывается по каждой оси

$$M = \frac{\sum_{i=1}^m T_{ni} R_{ni} Q_{ni} + \sum_{j=1}^n T_{kj} R_{kj} Q_{kj}}{\sum_{i=1}^m T_{ni} Q_{ni} + \sum_{j=1}^n T_{kj} Q_{kj}}, \quad (1)$$

где T_{ni} , T_{kj} – транспортный тариф для i -го поставщика и j -го клиента, руб./((т·км); R_{ni} , R_{kj} – расстояние от начала координат до положения i -го поставщика и j -го клиента, км; Q_{ni} – объем перевозок груза от i -го поставщика до объекта складской инфраструктуры, т; Q_{kj} – то же от

объекта складской инфраструктуры до j -го клиента, т [9].

Если между объемами перевозок и транспортными издержками существует линейная зависимость, то формула оптимального месторасположения логистического центра примет вид

$$M = \frac{\sum_{i=1}^m R_i Q_i}{\sum_{i=1}^m Q_i}; \quad (2)$$

2) метод Ардалана – эвристический матричный метод, позволяющий минимизировать транспортные расходы при поставке товаров от поставщика на ЛЦ и далее – потребителю, а также учесть показатели, характеризующие деятельность компании на рынке;

3) модели коммерческого притяжения – определение «границы безразличия» при выборе поставщика потребителем: месторасположение объекта логистической инфраструктуры должно быть привлекательно для наибольшего числа клиентов с позиции скорости и стоимости доставки. Уравнение, определяющее «границу безразличия» относительно каждого поставщика, имеет вид

$$L_n = \frac{\delta}{1 + \delta} L_0, \quad (3)$$

где δ – коэффициент равновесия; L_0 – расстояние между поставщиками, км [8].

К числу основных моделей коммерческого притяжения относятся схема Рейли, метод баланса затрат и обобщенная модель, учитывающие значение спроса и неоднородность условий на рынке, отличаясь друг от друга способом расчета коэффициента равновесия δ .

Моделью второго типа (рис. 2, группа 2.2) является алгоритм решения задач выбора расположения ЛЦ с известными координатами поставщиков и потребителей (задачи размещения). В его основе лежит минимизация целевой функции Z

$$Z_{\min} = S_1 + S_2 + S_3, \quad (4)$$

где S_1 , S_2 , S_3 – затраты, связанные с доставкой товаров на склад в составе логистического центра, их грузопереработкой и развозкой потребителям соответственно.

При определении оптимального месторасположения конкретного ЛЦ выбор модели из числа представленных (либо их сочетания) обуславливается значимостью их преимуществ и недостатков в условиях некоторого географического региона. К примеру, недостатки моделей первой группы – отсутствие учета динамического изменения спроса на товары и невозможность определения мощности складов в составе ЛЦ. В свою очередь, для моделей второй группы характерно допущение о равных скоростях доставки товаров и неизменном платежеспособном спросе населения в обслуживаемых пунктах.

После определения месторасположения ЛЦ следующим этапом проектирования предполагается оценка необходимых мощностей транспортного терминала – ключевого элемента в составе проектируемого ЛЦ. Степень неравномерности прибытия и отправления грузов на терминале характеризует коэффициент неравномерности

$$K_n = \frac{12Q_{\max}^{\text{мес}}}{Q_{\text{год}}}, \quad (5)$$

где $Q_{\max}^{\text{мес}}$ – максимальный объем переработки грузов за месяц, т; $Q_{\text{год}}$ – объем переработки грузов за год, т [10] (здесь и далее – при логистическом проектировании используются прогнозные значения показателей, при оценке

функционирования действующих терминальных объектов – фактические значения).

Потребное количество технических средств $M_{\text{пр}}$, используемых на терминале:

$$M_{\text{пр}} = \frac{365Q_{\text{сут}}}{HB_c \Theta_m (365 - T_p)}, \quad (6)$$

где $Q_{\text{сут}}$ – суточный объем переработки грузов, т; H – число смен работы механизма в сутки, ед.; B_c – продолжительность смены, ч; Θ_m – эксплуатационная производительность механизма, т/ч; T_p – время на ремонт механизма в течение года, сут.

Общая потребность в складских площадях на терминале

$$F_{\text{общ}} = \frac{E_{\text{скл}}}{Y_c K_{\text{скл}}}, \quad (7)$$

где $F_{\text{общ}}$ – общая площадь склада, м²; $E_{\text{скл}}$ – емкость склада, т; Y_c – удельная нагрузка на пол склада, т/м² (в расчетах для терминальных складов – 2 т/м); $K_{\text{скл}}$ – коэффициент полезного использования площади склада (принимается равным 0,35 [10]).

Показатель емкости терминальных складов $E_{\text{скл}}$ определяется по следующей формуле:

$$E_{\text{скл}} = Q_{\text{сут}} \tau_{\text{хр}} K_n, \quad (8)$$

где $\tau_{\text{хр}}$ – средняя продолжительность хранения грузов, сут. (расчетная норма: $\tau_{\text{хр}} \leq 5$ сут.).

Таким образом, на основе формул (5)–(8) проводятся расчеты по оптимизации параметров проектируемого либо функционирующего терминала в составе логистического центра.

ВЫВОД

Представленные теоретико-методические рекомендации призваны стать необходимым элементом научного обеспечения процессов развития логистической системы Беларуси. Уточнение понятийного аппарата, формирование системы принципов функционирования национальной логистической системы и систематизация методических подходов к логистическому проектированию обеспечивают переход к интегрированной парадигме развития национальной логистической системы. Повышение качества технико-экономических обос-

нований проектов по созданию логистических центров за счет реализации разработанных рекомендаций призвано интенсифицировать дальнейшее развитие логистики в стране.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаджинский, А. М. Логистика / А. М. Гаджинский. М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2013. 420 с.
2. Ермаков, И. Постановка проблемы развития национальной логистической системы / И. Ермаков, Д. Петухов // Логистика. 2014. № 11. С. 56–59.
3. Логистика и управление цепями поставок / под ред. В. В. Щербакова. М.: Изд-во «Юрайт», 2015. 582 с.
4. Зиневиц, А. С. Принципы развития транзитной привлекательности национальной логистической системы в Республике Беларусь / А. С. Зиневиц // Логистические системы и процессы в условиях экономической нестабильности: материалы III Междунар. заоч. науч.-практ. конф., Минск, 26–27 ноября 2015 г. Минск: БГАТУ, 2015. С. 148–162.
5. Ивуть, Р. Б. Транспортно-логистическая система Республики Беларусь: теория, методология, практика / Р. Б. Ивуть, Т. Р. Кисель. Могилев: Белорусско-Российский ун-т, 2015. 192 с.
6. Ивуть, Р. Б. Развитие транзитного потенциала Республики Беларусь в условиях формирования ее транспортно-логистической системы / Р. Б. Ивуть, А. Ф. Зубрицкий, А. С. Зиневиц // Новости науки и технологий. 2015. № 1. С. 19–33.
7. Ивуть, Р. Б. Пути повышения рейтинга Республики Беларусь по индексу эффективности логистики: итоги LPI 2014 / Р. Б. Ивуть, А. С. Зиневиц // Научные труды Академии управления при Президенте Республики Беларусь. Минск: АУПРБ, 2015. Выпуск 17. С. 177–190.
8. Транспортно-логистическая система Республики Беларусь: теория, методология, практика / под ред. Р. Б. Ивуть. Волгоград: Сфера, 2016. 292 с.
9. Попов, П. В. Проектирование товаропроводящих систем в торговле / П. В. Попов, И. Ю. Мирецкий, О. Г. Евстифеева. Волгоград: ФГБОУ ВПО РЭУ, 2013. 221 с.
10. Пеншин, Н. В. Технология управления перевозками грузов в терминальной системе / Н. В. Пеншин // Вестник Ижевского государственного технического университета имени М. Т. Калашникова. 2009. № 4. С. 134–137.

Поступила 07.06.2016

Подписана в печать 12.08.2016

Опубликована онлайн 29.11.2016

REFERENCES

1. Gadzhinskiy A. M. (2013) *Logistics*. Moscow, Publishing and Trading Corporation “Dashkov & Co”. 420 (in Russian).
2. Ermakov I., Petukhov D. (2014) Problem Statement for Development of National Logistics System. *Logistika [Logistics]*, (11), 56–59 (in Russian).
3. Shcherbakov V. V. (2015) *Logistics and Management of Supply Chains*. Moscow, Publishing House “Yurait”. 582 (in Russian).
4. Zinevich A. S. (2015) Principles for Development of Transit Attractiveness on National Logistics System in the Republic of Belarus. *Logisticheskie Sistemy i Protsessy v Usloviakh Ekonomicheskoi Nestabilnosti: Materialy III Mezhdunar. Zaoch. Nauch.-Prakt. Konf.* [Logistics Systems and Processes Under Conditions of Economic Instability. Materials III International Correspondence Scientific-Practical Conference]. Minsk, BSATU [Belarusian State Agrarian Technical University], 148–162 (in Russian).
5. Ivut R. B., Kisel T. R. (2015) *Transport-Logistics System of the Republic of Belarus: Theory, Methodology, Practice*. Mogilev, Belarusian-Russian University. 192 (in Russian).
6. Ivut R. B., Zubritsky A. F., Zinevich A. S. (2015) Development of Transit Capacity in the Republic of Belarus in the Context of its Transport-Logistical System Formation. *Novosti Nauki i Technology [News of Science and Technologies]*, (1), 19–33 (in Russian).
7. Ivut R. B., Zinevich A. S. (2015) Routes to Improve Ranking of the Republic of Belarus According to Logistics Performance Index: Results of LPI 2014. *Nauchnye Trudy Akademii Upravleniya pri Prezidente Respubliki Belarus* [Research Papers of the Academy of Public Administration under the Aegis of the President of the Republic of Belarus]. Minsk, Publishing House of the Academy of Public Administration under the Aegis of the President of the Republic of Belarus, Issue 17, 177–190 (in Russian).
8. Ivut R. B. (2016) *Transport-Logistics System of the Republic of Belarus: Theory, Methodology, Practice*. Volgograd, Publishing House “Sphere”. 292 (in Russian).
9. Popov P. V., Miretskiy I. Yu., Yevstifeeva O. G. (2013) *Designing of Commodity Distribution Networks in Trade*. Volgograd, Publishing House of Plekhanov Russian University of Economics. 221 (in Russian).
10. Penshin N. V. (2009) Technology of Freight Transportation Management in Terminal System. *Vestnik Izhevskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta imeni M. T. Kalashnikova* [Bulletin of Kalashnikov Izhevsk State Technical University], (4), 134–137 (in Russian).

Received: 07.06.2016

Accepted: 12.08.2016

Published online: 29.11.2016

DOI: 10.21122/2227-1031-2016-15-6-511-520

УДК 330:338

Концепция устойчивого развития как новая парадигма общественного прогресса

Канд. экон. наук Н. Я. Кажуро¹⁾¹⁾Белорусский государственный университет (Минск, Республика Беларусь)© Белорусский национальный технический университет, 2016
Belarusian National Technical University, 2016

Реферат. Современный экономический рост, сопровождаемый расслоением общества и целых стран на богатых и бедных, способствует процветанию культа богатства и силы этого богатства. Он приводит к расточительному использованию природных ресурсов, не решает и не в состоянии решить проблему массовой бедности. В 1992 г. в Рио-де-Жанейро проходила Конференция ООН по окружающей среде и развитию, посвященная выработке стратегии устойчивого экологически приемлемого экономического развития мировой цивилизации. Она констатировала невозможность движения развивающихся стран по тому пути, которым пришли к своему благополучию развитые страны. Эта модель признана ведущей к катастрофе, и в связи с этим провозглашена необходимость перехода мирового сообщества на рельсы устойчивого развития. Принцип устойчивого развития предполагает, что современное поколение людей планеты должно удовлетворять свои потребности так, чтобы на век наших детей и внуков тоже хватило ресурсов. Поэтому жить, позволяя себе постоянный рост потребления, сегодня уже нельзя. Конференция в Рио-де-Жанейро положила начало сознательному повороту человеческой цивилизации на новый путь развития, при котором человек поумерит свой потребительский эгоизм и постарается жить в гармонии с Природой. Чрезмерная ее эксплуатация сегодня грозит ответными, губительными для человечества реакциями. Суть глобальной проблемы заключается в том, как обеспечить прогресс в решении общей задачи, основанной на двух фундаментальных положениях, – развитие и окружающая среда. Принято считать, что конечной целью развития мирового сообщества должен быть не экономический рост сам по себе, не темпы и размеры накопления материальных благ, а сам человек. При таком подходе цель производства должна состоять не в бесконтрольном росте общественного продукта ради удовлетворения постоянно увеличивающихся потребностей людей, а в обеспечении рациональных (разумных, жизненно необходимых) материальных и духовных потребностей человека.

Ключевые слова: экономический рост, неустойчивое развитие, устойчивое развитие, «зеленая» экономика, окружающая среда, новая парадигма

Для цитирования: Кажуро, Н. Я. Концепция устойчивого развития как новая парадигма общественного прогресса / Н. Я. Кажуро // *Наука и техника*. 2016. Т. 15, № 6. С. 511–520.

Conception of Sustainable Development as New Paradigm of Social Progress

N. Ya. Kazhuro¹⁾¹⁾Belarusian State University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. Modern economic growth accompanied by a stratification of society and even countries into rich and poor contributes to prosperity of wealth cult and power of the wealth. It leads to wasteful use of natural resources and it does not solve and it is not capable to solve the problem of mass poverty. The United Nations Conference on Environment and Development (UNCED) was held in Rio de Janeiro in 1992. The Conference was devoted to work out a strategy for sustainable environmentally sound economic development of world civilization. It stated the impossibility for developing countries to move along the way which has been already passed by developed countries and which ensured them well-being. It has been recog-

Адрес для переписки

Кажуро Николай Яковлевич
Белорусский государственный университет
ул. Обойная, 7,
220030, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 306-00-35
01nick10@mail.ru

Address for correspondence

Kazhuro Nikolai Ya.
Belarusian State University
7 Oboynaya str.,
220030, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 306-00-35
01nick10@mail.ru

nized that the model is leading to disaster and in view of this necessity has been proclaimed to shift world community on the path of sustainable development. Principle of sustainable development presupposes that the current generation of people in the world should meet its needs in such a way so that our children and grandchildren will have sufficient quantity of resources as well. So it is not possible to day to follow life model when you are constantly increasing your consumption requirements. The Conference in Rio de Janeiro marked the beginning of turning in human civilization consciousness to follow a new path of development when a human being reduces its consumer selfishness and try to live in harmony with Nature. Nowadays its overuse invites retaliation, disastrous reactions for mankind. The essence of the global problem is how to ensure progress in solving a common task based on two fundamental aspects – development and environment. It is assumed that the ultimate purpose of world community development should be not an economic growth in itself, not the rate and proportion of material values accumulation but a human being itself. Following this approach production goal should be not in uncontrolled growth of the social product in order to satisfy constantly growing people's needs but to ensure rational (reasonable, vitally important) material and spiritual requirements of a human being.

Keywords: economic growth, unsustainable development, sustainable development, "green" economy, environment, new paradigm

For citation: Kazhuro N. Ya. (2016) Conception of Sustainable Development as New Paradigm of Social Progress. *Science & Technique*. 15 (6), 511–520 (in Russian)

В июне 1992 г. в Рио-де-Жанейро (Бразилия) на уровне глав государств и правительств проходила работа Конференции ООН по окружающей среде и развитию, посвященная выработке стратегии устойчивого, экологически приемлемого экономического развития мировой цивилизации. Она констатировала невозможность движения развивающихся стран по тому пути, которым пришли к своему благополучию развитые страны. Эта модель признана ведущей к катастрофе, и в связи с этим провозглашена необходимость перехода мирового сообщества на рельсы устойчивого развития. Такое развитие должно обеспечить необходимый баланс между решением социально-экономических проблем и сохранением окружающей среды. Речь идет об удовлетворении основных жизненных потребностей нынешнего поколения людей с сохранением таких возможностей для будущих поколений.

Совершить революционный переход к новому партнерскому типу взаимоотношений в мире, к новому характеру производства и потребления человечество, как подчеркивалось на конференции, сможет только в том случае, если все слои общества во всех странах мира осознают безусловную необходимость такого перехода и будут ему всемерно содействовать. Правительствами и парламентами всех стран мира предложено рассмотреть решения Конференции ООН и сверить с ними свою национальную политику.

Конференция в Рио-де-Жанейро положила начало сознательному повороту человеческой цивилизации на новый путь развития, при ко-

тором человек поумерит свою гордыню и потребительский эгоизм и постарается жить в гармонии с Природой. Чрезмерная ее эксплуатация сегодня грозит ответными, губительными для человечества реакциями. Осознание такой перспективы и явилось побудительным мотивом созыва Конференции ООН по окружающей среде и развитию.

Массированное воздействие на окружающую среду является характерной чертой промышленной революции, которая особенно быстрыми темпами пошла после Второй мировой войны. Хотя промышленное развитие является основой экономического развития, а следовательно, и подъема социально-экономического уровня жизни общества, однако шло оно во всем мире без должного учета истощаемости многих видов невозобновляемых ресурсов и понимания того обстоятельства, что восстановительные способности живой природы не являются беспредельными. Природная среда быстро деградирует под натиском человеческой деятельности. Угроза эта имеет глобальный общепланетарный характер, затрагивающий все страны, всю нашу цивилизацию, что заставило человечество задуматься о том, можно ли так жить дальше и что в связи с этим делать развивающимся странам, которые еще только начинают двигаться по пути промышленного развития.

Суть глобальной проблемы заключается в том, как обеспечить прогресс в решении общей задачи, основанной на двух фундаментальных положениях, – развитие и окружающая среда. Человечество осознало историческую необхо-

димось и нравственную обязанность сформировать новую модель развития, в которой благополучие всех и сохранение окружающей среды были бы обязательно синонимами. В то же время нельзя обеспечить экологическую безопасность планеты в социально несправедливом мире.

Современный экономический рост лишь усугубляет неравенство между богатыми и бедными странами. Если в 1960 г. пропорции разрыва ВВП на душу населения богатых и бедных составляли 30:1, то к 1990 г. – уже 60:1. А развитые страны, где проживает так называемый золотой миллиард населения, стабильно преобладают на мировой арене, производя 85 % мирового объема ВВП.

Сам термин «устойчивое развитие» получил широкое распространение после того, как в 1987 г. был опубликован доклад «Наше общее будущее». Его подготовила Всемирная комиссия ООН по окружающей среде и развитию. Под ним понимается такая модель движения вперед, при которой достигается удовлетворение жизненных потребностей нынешнего поколения людей, но без лишения этой возможности будущих поколений.

Концепция устойчивого развития сформировалась как ответ мирового сообщества на экономические проблемы. Она постепенно дополняется и уточняется по мере накопления знаний в сфере взаимодействия природы и общества, в пределах которой разумная человеческая деятельность становится главным, определяющим фактором развития.

Центральные вопросы сложившейся проблемы, обсуждавшиеся на конференции в Рио-де-Жанейро, были озвучены ее Генеральным секретарем. Это такие вопросы, как:

а) характер производства и потребления в промышленно развитой части мира, который подрывает системы, поддерживающие жизнь на Земле;

б) взрывообразный рост населения, преимущественно в развивающейся части мира, добавляющий ежедневно четверть миллиона человек (90 млн в год);

в) углубляющееся неравенство между богатыми и бедными, которое ввергает 75 % человечества в борьбу за выживание;

г) экономическая система, не учитывающая экологические ценности и ущерб, рассматривая неограниченный рост как прогресс.

На конференции отмечалось, что преобладающий прирост населения в развивающихся и экономический рост в промышленно развитых странах создают дисбаланс, характеризующийся неустойчивостью как в экологическом, так и в экономическом плане. По прогнозам, численность населения Земли к 2025 г. составит около 9–10 млрд. Хотя население развивающихся стран – это три четверти населения планеты, потребляет оно всего одну треть продукции. При этом разрыв в потреблении на душу населения продолжает расти. Отсюда следует вывод, что численность населения должна быть стабилизирована, и причем быстро. Если человечество не в состоянии такое сделать, то это сделает природа и значительно более жестоко. Уже сейчас каждый ребенок, родившийся в развитых странах мира, потребляет в 20–30 раз больше ресурсов планеты, чем ребенок в странах третьего мира.

Экономический рост, порождающий беспрецедентный уровень благополучия и мощи богатого меньшинства, ведет одновременно к рискам и дисбалансам, угрожающим в одинаковой мере как бедным, так и богатым. Существующая ныне модель развития с соответствующим ей характером производства и потребления, естественно, не может быть устойчивой для богатых. К тому же она не может быть повторена бедными. Если следовать и дальше по этому пути, то цивилизация в целом может потерпеть крах.

Человечество должно изменить характер нынешнего неустойчивого развития. Для этого ему необходимо искоренить нищету, добиваясь большего равенства не только внутри каждой страны, но и между государствами с целью соответствия деятельности и численности населения с законами планеты. В противном случае опасность, хаос и конфликты неизбежны. Таким образом, выяснилось, что при ограниченных ресурсах планеты потребление не может расти бесконечно. То отношение к потреблению, которое Запад навязывал всему миру на протяжении ста с лишним лет, приходится пересматривать. Четкого представления о завтрашнем дне сегодня нет ни у кого.

В принятой на конференции в Рио-де-Жанейро декларации по окружающей среде и развитию содержится ряд рекомендательных принципов, в которых раскрываются сущность и цели реализации концепции устойчивого развития, соотношение национальных и общечеловеческих интересов, а также роль государства в реализации данной концепции. В частности, в ней указывается, что понятие устойчивого развития включает в себя такие составляющие, как:

а) признание того, что в центре внимания находятся люди, которые должны иметь право на здоровую и плодотворную жизнь в гармонии с природой;

б) охрана окружающей среды должна стать неотъемлемой компонентой процесса развития и не может рассматриваться в отрыве от него;

в) право на развитие должно реализоваться таким образом, чтобы в равной мере обеспечить удовлетворение потребностей в развитии и сохранении окружающей среды как нынешнего, так и будущих поколений;

г) уменьшение разрыва в уровне жизни народов мира, искоренение бедности и нищеты с учетом того обстоятельства, что на долю трех четвертей населения земли приходится лишь одна седьмая часть мирового дохода;

д) наращивание эффективности природоохранного законодательства, касающегося ответственности за нанесение ущерба окружающей среде и компенсации тем, кто пострадал в результате этого и т. д.

В Декларации заслуживает особого внимания принцип, который гласит: «Чтобы добиться устойчивого развития и более высокого уровня жизни для всех народов, государства должны уменьшить и исключить не способствующие устойчивому развитию модели производства и потребления...» [1, с. 25].

Таким образом, Декларация признает тот факт, что путь, которым пришли к своему благополучию развитие страны, является в современных условиях неприемлемым в принципе для человечества в целом. В Декларации указывается также, что различные государства в разной степени виновны в загрязнении окружающей среды и несут хотя и общую, но не одинаковую ответственность за это. Важно отметить, что закрепление данного положения в документе такого высокого ранга отражает то

обстоятельство, что благополучие развитых стран в значительной мере построено за счет потенциала благополучия, нереализованного в развивающихся странах. Этим самым косвенно признается, что финансовые долги таких государств развитым странам должны быть соотнесены с тем ущербом, который был нанесен развивающемуся миру.

В целом Декларация по окружающей среде и развитию свидетельствует о том, что объективно назрела необходимость перевода усилий по сохранению окружающей среды и реализации концепции устойчивого развития в ранг государственной и межгосударственной политики. Именно с данной политикой должны сверяться все экономические и политические решения.

Одним из основополагающих документов, принятых на конференции в Рио-де-Жанейро наряду с Декларацией по окружающей среде и развитию, является «Повестка дня на XXI век» (Программа 21). По существу, это программа, ориентирующая мировое сообщество на решение тех проблем, с которыми столкнулась наша цивилизация на рубеже XXI в., когда противоречия между сложившимся характером развития цивилизации и природой достигли предела. Если срочно не принять мер, то природа за надругательство над ней оплатит человечеству своими глобальными ответными реакциями, как то: изменение климата, засухи и опустынивание, проникновение через атмосферу жесткого ультрафиолетового излучения, непредсказуемые генетические изменения, эпидемии, голод, мор и т. д.

Перед человечеством встала альтернатива: либо заморозить процесс наращивания в мире промышленного потенциала, увековечив разделение мира на богатые и бедные страны, либо найти комплексный подход к проблемам сбалансированности развития, с одной стороны, и состояния окружающей среды – с другой. Речь идет об ориентации на повышение уровня жизни населения всей планеты на основе удовлетворения жизненно важных потребностей человека [2, с. 32]. Сделанный человечеством выбор в пользу второго варианта отражает глобальный консенсус путем принятия на самом высоком уровне политических обязательств в отношении сотрудничества по вопросам социально-экономического развития и сохранения окружающей среды. Говоря иначе, принято

считать, что конечной целью развития мирового сообщества должен быть не экономический рост сам по себе, не темпы и размеры накопления материальных благ, а сам человек. При таком подходе цель производства должна состоять не в бесконтрольном росте общественного продукта ради удовлетворения постоянно растущих потребностей людей, а в обеспечении рациональных (разумных, жизненно необходимых) материальных и духовных потребностей человека.

В мировом сообществе назрел и объективно востребован переход к модели устойчивого экономического развития. Сейчас она выступает как новая глобальная стратегия, которая способна обеспечить выживание человечества.

С общечивилизационной точки зрения, под устойчивым развитием понимается глобально управляемое развитие всего мирового сообщества с целью сохранения биосферы и существования человечества, его непрерывного развития. Устойчивым при этом может быть только мировое сообщество в целом, так как биосфера и ноосфера (греч. *noos* – разум) есть общий организм планеты Земля. Ответственность за успешное осуществление «Повестки дня на XXI век» ложится прежде всего на правительства стран мирового сообщества. Решающее значение для достижения данной цели имеют национальные стратегии, планы, политика и процессы, так как ни одна страна не в состоянии добиться этого в одиночку.

В связи с разработкой международным сообществом концепции устойчивого развития в Республике Беларусь в 1996 г. создана Национальная комиссия по устойчивому развитию, а в 1997 г. принята первая Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь (НСУР). Она была одобрена постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 27.03.1997 № 255. Постановлением предписывалось министерствам и другим республиканским органам государственного управления, местным исполнительным и распорядительным органам принять за основу Национальную стратегию устойчивого развития при разработке прогнозов и программ социально-экономического развития отраслей и регионов.

В документе отмечалось, что разделяя основные рекомендации и принципы документов, принятых в 1992 г. в Рио-де-Жанейро, правительство Республики Беларусь «...считает необходимым осуществить переход к устойчиво-

му развитию, обеспечивающему сбалансированное решение социально-экономических задач, проблем сохранения благоприятной окружающей среды и природно-ресурсного потенциала в целях удовлетворения потребностей нынешнего и будущих поколений людей» [3, с. 2].

Как видно, главная цель НСУР сформулирована в соответствии с принципами и рекомендациями Конференции ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992 г.), так как предусматривает обеспечение социально-экономического развития страны при сохранении благоприятной окружающей среды и рациональном использовании природно-ресурсного потенциала для удовлетворения потребностей нынешнего и будущих поколений с учетом интересов других государств.

НСУР Республики Беларусь получила тогда положительную оценку на региональной конференции по устойчивому развитию стран с переходной экономикой и других государств. Конференция проходила в Минске в апреле 1997 г. с участием представителей органов государственного управления ряда стран, а также Секретариата ООН и других авторитетных международных и правительственных организаций.

Необходимость устойчивого развития весьма актуальна для Республики Беларусь, экономика которой долгое время являлась составной частью прежнего единого общесоюзного народнохозяйственного комплекса. Она имела и имеет высокую степень открытости и ориентированности на бывший огромный союзный рынок, а следовательно, большую потребность в поставках энергоносителей, сырья и иных жизненно важных производственных ресурсов, прежде всего из России. Поэтому распад СССР весьма отрицательно сказался на стабильности развития Беларуси. Кроме того, экологическая ситуация в стране осложнена последствиями катастрофы на Чернобыльской АЭС (апрель 1996 г.), широким развитием химической и нефтехимической промышленности, крупных машиностроительных предприятий, а также наличием большого количества животноводческих комплексов, не обеспеченных в должной мере реальными техническими возможностями для утилизации отходов.

Согласно вышеназванному постановлению правительства, вектор развития нашей республики не может противоречить процессу развития мировой цивилизации в целом. Поэтому НСУР Беларуси была разработана на основе

принципов, изложенных в «Повестке дня на XXI век», с учетом, естественно, собственных интересов, условий и особенностей. При этом предполагалось, что НСУР должна входить в систему государственных прогнозных и плановых документов социально-экономического развития на долгосрочную перспективу и разрабатываться каждые пять лет на 15-летний период. На ее основе начали определять основные направления долгосрочного социально-экономического развития Республики Беларусь, строить государственную демографическую политику, политику размещения производительных сил и использования природных ресурсов, составлять республиканские и региональные программы.

Новая редакция НСУР Республики Беларусь на период до 2020 г. (НСУР-2020) была одобрена Национальной комиссией по устойчивому развитию и Президиумом Совета Министров в 2004 г. Согласно НСУР-2020, стратегическая цель устойчивого развития Беларуси заключается в динамичном повышении уровня благосостояния, обогащении культуры, нравственности народа на основе интеллектуально-инновационного развития экономической, социальной и духовной сфер, сохранении окружающей среды для нынешних и будущих поколений [4, с. 31].

В 2014 г. была разработана концепция новой Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь до 2030 г., которая предусматривает решение проблем по трем направлениям: человек, качество окружающей среды и конкурентоспособная экономика. В документе отмечается, что в рейтинге по Индексу экологической эффективности (комбинированный показатель, отражающий достижения страны с точки зрения состояния экологии и управления природными ресурсами) Республика Беларусь улучшила свои позиции, поднявшись с 73-го места в 2005 г. на 32-е место в 2014-м. Вместе с тем оценка экологичности развития Беларуси в 2011–2012 гг. показывает, что в настоящее время республика потребляет больше ресурсов, чем способна восстановить природа [5, с. 10].

Важнейшим инструментом устойчивого развития является «зеленая» экономика. По определению UNEP (Программа ООН по окружающей среде), «зеленой» является такая экономика, которая приводит к повышению благосостояния

людей и укреплению социальной справедливости при одновременном существенном снижении рисков для окружающей среды и дефицита экологических ресурсов. «Зеленая» экономика предусматривает внедрение новых технологий, выводит на первый план энергосбережение. Все это можно назвать актуальными проблемами и для Беларуси, и для России.

Никто не может точно знать, что ждет человечество в будущем. Однако и фантасты, и ученые предупреждают, что ничего хорошего ждать не следует, если люди не переменят свое отношение к планете и ее ресурсам, которые вовсе не являются бездонными. При этом мало согласиться с тем, что мусорить плохо, гораздо важнее перестать загрязнять окружающую нас среду в глобальном масштабе и начать помогать ей восстановить экологический баланс. Это прописные истины для людей, которым не безразлична судьба нашей планеты. Сортировать мусор, не срывать редкие растения, экономить электричество – это, на первый взгляд, не сложно, но такие поступки требуют от каждого достаточно высокого уровня идеологической готовности.

Логика «зеленой» экономики надо перенести на социум. Не только природа, но и социум финансируются сегодня по остаточному принципу, который не позволяет восстанавливать на должном уровне человеческий капитал. А без восстановленного человеческого капитала, более высокого, чем в предыдущих поколениях, невозможны никакие направления развития, в том числе и «зеленая» экономика. Сложившуюся в мире ситуацию отягощает и то, что даже «зеленая» экономика все равно воспринимается людьми как экономический рост. В то же время значительная часть экспертов мирового уровня говорят о том, что экономический рост есть наиболее короткий путь к краху цивилизации. По их мнению, необходимо стабилизировать положение на тех масштабах возобновляемых природных ресурсов, которыми человечество реально располагает.

Поэтому делаемые ныне акценты на «зеленую» экономику, видимо, будут выполняться в незначительной степени, поскольку это требует высокого уровня развития общественного сознания, определенных научно-инновационных технологий, а также высокого уровня материального благополучия. Далеко не все государства располагают этой триадой, в том числе

и Беларусь, которая не относится к странам, богатым материально, у которых все хорошо в духовной и культурной сферах и где развиты технологии, совместимые с будущим. Такие государства испытывают экономические трудности «переходного периода», они не располагают значительными финансовыми средствами, чтобы продвигать «зеленые» инициативы, отказываясь от сгораемого углеводородного топлива и т. д.

Тем не менее Беларуси придется участвовать в мировых тенденциях, тем более что она имеет значительный плюс. Прежде всего, наша республика – это часть цивилизованной Европы и со своим интеллектуальным потенциалом вполне может участвовать в сложной аналитической работе. Специалисты ООН, проанализировав готовность стран к переходу на новую экономическую модель, отметили, что в Беларуси неплохо развиты контроль состояния окружающей среды и система экологической статистики, а также разработаны долгосрочные стратегические программы для перехода к принципам «зеленой» экономики. Однако процесс усложняется недостаточным финансированием этих программ, почти полной зависимостью от внешних источников энергии, неразвитостью системы утилизации отходов и т. д. Государство должно инвестировать в исследования и разработки, связанные с созданием экологически чистых технологий, в возобновляемые источники энергии, строительство энергоэффективных объектов и в «природный капитал».

Для Республики Беларусь, имеющей ограниченные природные ресурсы, роль научно-технической и инновационной деятельности является решающей в обеспечении не только экономической, но и национальной безопасности в целом. Согласно Концепции национальной безопасности Республики Беларусь, основными национальными интересами в научно-технологической сфере являются: формирование экономики, основанной на знаниях; обеспечение развития науки и технологий как базы устойчивого инновационного развития республики; создание новых производств, секторов экономики передовых технологических укладов; интенсивное технологическое обновление базовых секторов экономики и внедрение передовых технологий во все сферы жизнедеятельности общества; расширение присутствия Беларуси

на мировом рынке интеллектуальных продуктов, наукоемких товаров и услуг; взаимовыгодное международное научно-технологическое сотрудничество и привлечение в экономику страны технологий мирового уровня [6, с. 9].

Основным показателем развития научной деятельности для межстрановых сопоставлений принята наукоемкость валового внутреннего продукта. Она определяется по доли затрат в нем на исследования и научные разработки. В Республике Беларусь в последние годы данный показатель, к сожалению, составляет всего 0,52 %. Это меньше, чем 15 лет тому назад. В 2000 г. он составлял 0,72 % от ВВП. За это время произошло значительное сокращение численности персонала, занятого научными исследованиями и разработками. Если в 2000 г. численность персонала составляла 32926 человек, то в 2014-м – уже 27208 [7, с. 381, 383].

Беличина наукоемкости ВВП считается критической, если она составляет не более 1,0 %. Для получения экономической отдачи от инвестиций в научные исследования и разработки наукоемкость ВВП должна быть не менее 1,5–2,0 %. В экономически развитых государствах данный показатель составляет 2,0–3,0 % от уровня ВВП. Естественно, для нашей страны это является сдерживающим фактором для ускоренной разработки передовых отечественных технологий, в то время как потребность в технологической и структурной модернизации производства остается крайне высокой.

Недофинансирование и низкая заработная плата в научной сфере привели более чем к трехкратному (по сравнению с 1990 г.) сокращению объема исследований и разработок, а также количества выполнявших их работников. Их число в расчете на 1 млн жителей стало существенно меньше, чем в экономически развитых странах: в 1,9 раза – чем в России, в 2 раза – чем в Швеции, в 2,6 раза – чем в Японии [8, с. 735–736]. Согласно разработанной в 2014 г. концепции новой Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь до 2030 г., повышение затрат на научные исследования и разработки должно достигнуть к указанному сроку 2,5 % ВВП, а удельный вес инновационной продукции в общем объеме отгруженной промышленной продукции должен вырасти до 25,0 % [5, с. 34].

Важным мероприятием в деятельности ООН явилась конференция высокого уровня по

устойчивому развитию («Рио + 20»), которая прошла 20–22 июня 2012 г. в Рио-де-Жанейро. Она способствовала определению параметров дальнейшего международного сотрудничества по проблематике устойчивого развития на долгосрочную перспективу. Конференция выработала подход международного сообщества к концепции «зеленой» экономики в контексте устойчивого развития и согласовала ее основные принципы. «Рио + 20» стала третьей конференцией по устойчивому развитию за последние 20 лет. Ей предшествовали Конференция ООН по устойчивому развитию (Рио-де-Жанейро, 1992 г.) и Всемирный саммит по устойчивому развитию (Йоханнесбург, 2002 г.). Участие министра иностранных дел Беларуси в работе группы старших консультантов, а также активная позиция белорусской делегации на каждом этапе переговоров обеспечили отражение в итоговом документе «Рио + 20» всех принципиальных для нашей страны идей.

Беларусь добилась включения энергетики в качестве самостоятельного направления для взаимодействия в контексте устойчивого развития. Включенные формулировки подчеркивают необходимость диверсификации национального энергетического баланса в целях снижения объемов парниковых выбросов и суверенное право страны на определение оптимальной «энергетической корзины». Таким образом, раздел в полной мере обеспечивает позиции Беларуси в контексте строительства АЭС [9, с. 4]. Важное значение в этой связи имеет проходившая с 30 ноября по 11 декабря 2015 г. в Париже 21-я Всемирная конференция сторон рамочной конвенции ООН по изменению климата (сокращенно – COP21), в которой приняли участие делегации из 195 стран. На конференции удалось преодолеть разногласия, доработать и подписать итоговое рамочное соглашение по климату, которое сменит Киотский протокол в 2020 г. и призвано остановить, насколько это возможно, процесс перегрева планеты и разрушения устойчивой экосистемы Земли. Достигнутое соглашение, по словам президента Франции Франсуа Олланда, является, быть может, последним шансом для человечества спасти планету.

Итак, у нашей планеты появился шанс. Этот важнейший документ должен стать руководством к действию для всех стран мира, которые пообещали сообща сделать все возможное, чтобы остановить глобальное потепление на

уровне не выше 2 °С. Документ подписала и Республика Беларусь. По мнению экспертов, повышение температуры на 2 °С имеет критическое значение. Именно при таком уровне, как считают экологи, еще есть вероятность остановить пагубные для природы процессы. Дальнейшее потепление вызовет резкое усиление колебаний погоды, рост силы и частоты аномальных явлений на больших территориях. Следствием станет подъем уровня Мирового океана, что приведет к необходимости переселения сотен миллионов людей, вымиранию многих видов растений и животных.

Несколько красноречивых цифр: первое десятилетие XXI в. за последние 10 тысяч лет стало самым теплым, а концентрация двуокиси углерода (CO₂) в атмосфере из-за деятельности человека с 1750 г. выросла на 40 % (это больше, чем за предшествующие 800 тысяч лет). Существуют и другие довольно тревожные данные. Так, начиная с 1880 г. средняя температура земной атмосферы росла непрерывно и увеличилась на 0,85 °С. Некоторые климатические модели предсказывают даже, что к концу XXI ст. температура может, в наихудшем случае, вырасти на 5 °С, что будет иметь для планеты и человеческой цивилизации катастрофические последствия [10, с. 3].

Некоторые города могут стать жертвой процесса подъема уровня Мирового океана, их попросту затопит, и никакие дамбы не помогут. Экстремальные погодные аномалии (засухи, периоды чрезвычайного зноя, наводнения в результате чрезмерных осадков) могут стать не редким, а постоянным явлением, что нанесет серьезный удар по продовольственной безопасности человечества. Поэтому если оно хочет избежать такой незавидной судьбы, то ему следует начать действовать уже сейчас. Мировое сообщество уже не сможет не дать процессу потепления достичь уровня 2 °С, поэтому единственное, что еще сейчас можно сделать, – это не допустить более значительного разогрева атмосферы.

Участники конференции достигли консенсуса по вопросам необходимости отказа в будущем от использования углеродного топлива. Так, страны Европейского союза выступили на парижской конференции с предложениями подписать не позднее 2020 г. всемирное соглашение по климату, в котором бы все государства планеты взяли на себя обязательства снизить к 2050 г. выбросы в атмосферу вредных

продуктов, образующихся при использовании углеводородного сырья (на 50 % по сравнению с уровнем 1990-го), а к 2100 г. сделать эти выбросы нулевыми. Некоторые страны даже назвали определенную дату, когда использование транспортных средств на сгораемом топливе станет вне закона. Они готовы ввести полный запрет на бензиновые и дизельные машины уже к 2050 г. Таким образом, отказ от использования углеводородного топлива является лишь вопросом времени.

Важный пункт парижского соглашения – установление размера финансовой помощи развивающимся странам на реализацию экономических проектов. Согласно принятому решению, бедные страны будут получать от развитых стран через специально созданный фонд 100 млрд долларов ежегодно начиная с 2020 г. В ближайшее время предстоит выработать механизм справедливого распределения этих средств.

Принятие важнейших для выживания человечества документов на саммите в Париже во все не означает, что мировое сообщество может выдохнуть с облегчением, ведь документы должны быть ратифицированы каждым из 195 государств в течение 2017–2020 гг. От результатов конференции в Париже зависят жизни миллиардов людей на планете, которые живут сегодня и будут жить завтра.

Сложившаяся в мире экономическая и экологическая ситуация объективно требует внесения существенных корректив прежде всего в представление об объекте и субъекте экономики. Теперь уже мало производить товары и их продавать с целью получения максимальной прибыли. Объектом усилий в экономике становится также особая деятельность по природосбережению. Кроме того, экономика должна обеспечивать не просто воспроизводство работников (их рабочей силы), но и формировать развитие нового типа работников. Для этого необходимо вкладывать все больше средств в их здоровье, образование, профессионализм, культуру, развитие творческой и инновационной активности и т. п.

В современных условиях не только объект и субъект становятся иными, но и сама цель экономики также должна быть другой. Она не может уже быть чисто экономической, подчиненной максимизации прибыли (на микроуровне) и экономическому росту (на макроуровне). Экономика нового времени должна непременно до-

стигать и других целей, главной из которых является социальная и экологическая устойчивость. Для выхода на траекторию устойчивого развития каждой стране необходимо ориентироваться на общественные принципы, реализовать определенные императивы и соблюдать критерии, обеспечивающие гармоничное развитие экономики, социальной сферы и окружающей среды в их взаимодействии и взаимозависимости.

В силу изменений самой реальной экономики, людей, которые в ней функционируют, внешней международной и окружающей природной среды существующая до сих пор парадигма перестает соответствовать времени, она устаревает и не способствует решению новых проблем. Следствием этого является необходимость поиска и формирования новой парадигмы.

Парадигма (от греч. *paradeigma* – пример, образец) в науке – это установка на проведение исследований, признанных соответствующими для решения тех задач, которые возникают в силу объективно сложившихся реальностей общественного развития. Это своего рода вектор (указатель), позволяющий исследователям продвигаться к тайнам экономической науки. Умение увидеть экономическое во взаимосвязи с социальным и экологически безопасным развитием – это еще один поворот к новой парадигме в экономической науке.

Являясь членом мирового сообщества, Республика Беларусь придерживается принципиальной линии на смену парадигмы общественного прогресса с переходом на новые принципы взаимодействия природы, общества и человека. Новая цивилизационная стратегия, парадигма общественного прогресса в модели устойчивого развития предполагает, что высшей целью научно-технического и социально-экономического прогресса должен стать человек, его духовное и физическое здоровье в благоприятной и безопасной среде. Поэтому совместный поиск государствами мира новой цивилизационной стратегии, устраняющей исторически унаследованные диспропорции и угрозы в развивающихся странах, новых концепций социальной справедливости, экономической эффективности и экологической защищенности является жизненно необходимым для мирового сообщества.

ВЫВОДЫ

1. Устойчивое развитие общества предполагает, что современное поколение людей плане-

ты должно удовлетворять свои потребности так, чтобы на век наших детей и внуков тоже хватило ресурсов. Поэтому жить, позволяя себе постоянный рост потребления, уже нельзя.

2. Надо подготовиться к изменениям, адаптироваться к новым условиям. Следует беречь окружающую природу и климат, ограничить выбросы парниковых газов путем ограничения энергопотребления, использования возобновляемых источников энергии. Нужно обязательно вовлекать в этот процесс все больше и больше людей, особенно молодежь.

3. У мирового сообщества нет единой и безусловной концепции устойчивого развития, объясняющей, куда двигаться. Пока не произойдет переориентация мира на то, что мы должны руководствоваться не политическими мотивами (за которыми ничего нет, кроме амбиций политиков), а объективными законами развития, до тех пор человечество не сможет что-либо изменить.

4. Задача построения нового человека и нового общества – это не фантастика, а обязательное условие перехода мирового сообщества к устойчивому развитию. Экономическая система, которая не учитывает экологические ценности и ущерб и рассматривает неограниченный рост как прогресс, неизбежно приведет нашу цивилизацию к краху.

ЛИТЕРАТУРА

1. Декларация Рио-де-Жанейро по окружающей среде и развитию // Конференция ООН по окружающей среде и развитию. Рио-де-Жанейро, июнь 1992 г.: информационный обзор. Новосибирск: Российская академия наук, Сибирское отделение, 1992. 62 с.
2. Повестка дня на XXI век // Конференция ООН по окружающей среде и развитию. Рио-де-Жанейро, июнь 1992 г.: информационный обзор. Новосибирск: Российская академия наук, Сибирское отделение, 1992. 62 с.
3. О национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Республики Беларусь, 27.03.1997 № 255]. Режим доступа: <http://pravo.levonevsky.org/bazaby11/republic54/text709/index.htm>. Дата доступа: 10.03.2016.
4. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 г. Минск: Юнипак, 2004. 204 с.
5. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 г. // Экономический бюллетень Научно-исследовательского экономического института Министерства экономики Республики Беларусь. 2015. № 4. С. 6–99.
6. Концепция национальной безопасности Республики Беларусь. Минск: Белорусский дом печати, 2011. 48 с.

7. Статистический ежегодник Республики Беларусь, 2015. Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2015. 526 с.
8. Национальная экономика Беларуси / В. Н. Шимов [и др.]. Минск: БГЭУ, 2009. 752 с.
9. Итоги конференции ООН по устойчивому развитию до 2012 г. в контексте продвижения белорусских интересов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.russian-science.info>. Дата доступа: 24.03.2016.
10. Парижская битва за климат на Земле / Л. Джорио [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://inosmi.ru/international/20151128/23462113>. Дата доступа: 18.03.2016.

Поступила 04.04.2016

Подписана в печать 12.06.2016

Опубликована онлайн 29.11.2016

REFERENCES

1. Rio de Janeiro Declaration on Environment and Development. *UN Conference on Environment and Development. Rio de Janeiro, June 1992. Information Overview*. Novosibirsk, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, 1992. 62 (in Russian)
2. Agenda for XXI Century. *UN Conference on Environment and Development. Rio de Janeiro, June 1992. Information Overview*. Novosibirsk: Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, 1992. 62 (in Russian).
3. *On National Strategy for Sustainable Development of the Republic of Belarus: Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus*, 27.03.1997, No 255. Available at: <http://pravo.levonevsky.org/bazaby11/republic54/text709/index.htm>. (Accessed: 10 March 2016) (in Russian).
4. *National Strategy for Sustainable Socio-Economic Development of the Republic of Belarus for the Period Until 2020*. Minsk: Publishing House "Unipak", 2004. 204 (in Russian).
5. *National Strategy for Sustainable Socio-Economic Development of the Republic of Belarus for the Period Until 2030. Ekonomicheskii Biulleten Nauchno-Issledovatel'skogo Ekonomicheskogo Instituta Ministerstva Ekonomiki Respubliki Belarus* [Economic Bulletin. Scientific-Research Economic Institute of Ministry of Economy of the Republic of Belarus], 2015, (4), 6–99 (in Russian).
6. *National Security Concept of the Republic of Belarus*. Minsk, Belarusian Printing House, 2011. 48 (in Russian).
7. *Statistical Yearbook of the Republic of Belarus, 2015*. Minsk, National Statistical Committee of the Republic of Belarus, 2015. 526 (in Russian).
8. Shimov V. N., Aleksandrovich Ia. M., Bogdanovich A. V., Kriukov L. M., Rogach P. I., Sokolovskii N. K. (2009) *National Economy of Belarus*. Minsk, BSEU [Belarus State Economic University]. 752 (in Russian).
9. Outcomes of UN Conference on Sustainable Development – 2012 in the Context of Promotion of Belarusian Interests. *The Ministry of Foreign Affairs of the Republic of Belarus*. Available at: http://mfa.gov.by/print/international_agenda/dc9a39b1410b6da6.html. (Accessed: 24 March 2016) (in Russian).
10. Jorio L. (2015) Paris Battle for the Climate on the Earth. *Inosmi.ru*. Available at: <http://inosmi.ru/international/20151128/234621439.html>. (Accessed: 18 March 2016) (in Russian).

Received: 04.04.2016

Accepted: 12.06.2016

Published online: 29.11.2016

DOI: 10.21122/2227-1031-2016-15-6-521-527

УДК 338.24 (476) (043.3):336.279

Совершенствование института несостоятельности (банкротства) в Республике Беларусь

Магистр экон. наук Ю. Е. Трубина¹⁾¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)© Белорусский национальный технический университет, 2016
Belarusian National Technical University, 2016

Реферат. Экономическая несостоятельность (банкротство) в условиях рыночной экономики является важнейшим институтом гражданского права в сфере защиты прав и законных интересов субъектов экономической деятельности. Цель статьи – выявление проблем института экономической несостоятельности (банкротства) в Республике Беларусь и разработка рекомендаций по его совершенствованию. Для достижения данной цели были поставлены и решены следующие задачи: выявлены проблемы и даны рекомендации по совершенствованию института банкротства в Республике Беларусь; разработаны предложения по совершенствованию очередности удовлетворения имущественных требований кредиторов в Беларуси. Теоретической и методологической основой статьи являлись действующие нормативно-правовые акты по исследуемой проблеме, труды отечественных, российских и зарубежных авторов и другие публикации. По результатам проведенного исследования сделан вывод, что в Республике Беларусь сложился достаточно эффективный институт несостоятельности (банкротства) и, в частности, система реализации прав кредиторов. Однако на практике часто встречаются вопросы, не в полной мере урегулированные законодательством, некоторые нормы нуждаются в совершенствовании. Кредиторы – одни из основных субъектов конкурсного права. Поэтому в национальных законодательствах большинства зарубежных стран подробно регламентируются их права и уделяется большое внимание установлению оптимальной очередности удовлетворения их требований. Белорусская очередность удовлетворения требований кредиторов социально ориентирована, лаконична, имеет ряд недостатков, впрочем, как и весь институт банкротства в целом. На основании выявленных недостатков автором даются методические рекомендации по совершенствованию института несостоятельности (банкротства), а также предлагается авторская очередность удовлетворения требований кредиторов.

Ключевые слова: экономическая несостоятельность, банкротство, права кредиторов, очередность, требования кредиторов

Для цитирования: Трубина, Ю. Е. Совершенствование института несостоятельности (банкротства) в Республике Беларусь / Ю. Е. Трубина // *Наука и техника*. 2016. Т. 15, № 6. С. 521–527

Improvement of Insolvency Institution (Bankruptcy) in the Republic of Belarus

Yu. E. Trubina¹⁾¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. Economic insolvency (bankruptcy) in the market economy conditions is the most important institution of civil law for protection of rights and legitimate interests of economic entities. Purpose of the paper is to identify problems of the economic insolvency (bankruptcy) institution in the Republic of Belarus and develop recommendations for its improvement. In order to achieve this goal a number of tasks have been assigned and the following problems have been solved: several weak points have been revealed and recommendations have been given with the purpose to improve institution of bankruptcy in the Republic of Belarus; proposals have been elaborated for the betterment of priority aimed at meeting creditors' property claims in the Republic of Belarus. Effective statutory and legal enactments on the studied problem, works of national, Russian and foreign authors and other publications have served as a theoretical and methodological basis for the paper. According to research results a conclusion has been made that rather efficient institution of insolvency (bankruptcy) and particularly a system for realization of creditors' rights were formed in the Republic of Belarus. However, there are a lot of points in practice

Адрес для переписки

Трубина Юлия Евгеньевна
Белорусский национальный технический университет
ул. Я. Коласа, 14,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 292-60-80
ftug@bntu.by

Address for correspondence

Trubina Yuliya E.
Belarusian National Technical University
14 Ya. Kolasa str.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 292-60-80
ftug@bntu.by

which are not fully regulated by law, some rules and regulations require their improvement. Creditors are among the main subjects of the competition law so national legislation in majority of foreign countries regulates their rights and pays a great attention to setting an optimal priority for meeting their claims. Belarusian priority for meeting creditors' claims is socially oriented; it looks rather concise and it has several drawbacks but it concerns the bankruptcy institution as a whole. The author proposes methodological recommendations on improvement of the insolvency (bankruptcy) institution and his priority for meeting creditors' claims on the basis of the identified drawbacks.

Keywords: economic insolvency, bankruptcy, creditors' rights, priority, creditors' claims

For citation: Trubina Yu. E. (2016) Improvement of Insolvency Institution (Bankruptcy) in the Republic of Belarus. *Science & Technique*. 15 (6), 521–527 (in Russian)

Введение

В условиях рыночных преобразований, проводимых в белорусской экономической системе, особую актуальность приобретают разработка новых и повышение эффективности предусмотренных действующим законодательством инструментов гражданско-правовой защиты отношений, складывающихся в сфере экономической деятельности в целом, и отношений в сфере экономической несостоятельности (банкротстве) в частности, что представляет собой механизм гражданско-правового регулирования отношений, связанных с экономической несостоятельностью (банкротством), направленный на справедливое удовлетворение требований всех кредиторов с соблюдением баланса интересов должника. В действующей правоприменительной практике, связанной с экономической несостоятельностью (банкротством), имеется достаточное количество нерешенных правовых проблем, требующих глубокого научно-теоретического осмысления и необходимости дальнейшего совершенствования гражданского законодательства, регулирующего область исследуемых правоотношений.

Актуальность избранной темы заключается в том, что на фоне развивающихся рыночных экономических отношений, достаточно молодого института частной и иных форм собственности в Республике Беларусь ощущается недостаток теоретических исследований, в которых анализируются проблемы института экономической несостоятельности (банкротства), способы защиты прав участников правоотношений в сфере экономической несостоятельности (банкротстве). Также статья может быть востребована в современных условиях, поскольку с каждым годом растет количество дел о банкротстве, что свидетельствует об актуальности проблемы правового регулирования отечественного института банкротства. По мнению автора, особо актуальным становится институт защиты прав и интересов кредиторов, так как необходимо обеспечить справедливое удовлетворение имущественных требований всех кре-

диторов банкрота при распределении средств, полученных от реализации имущества должника, а также охрану их интересов в случае недобросовестных действий должника. Знание кредиторами своих прав позволит минимизировать потери при банкротстве должника.

Цель статьи – выявление проблем института экономической несостоятельности (банкротства) в Республике Беларусь и разработка рекомендаций по его совершенствованию.

В научной литературе вопросы института банкротства представлены трудами белорусских и российских исследователей, таких как А. Б. Агеев, В. Ф. Байнев, Е. А. Васильев, В. В. Витрянский, Д. В. Иевлев, В. С. Каменков, Л. Г. Козыра, К. И. Малышев, И. Ю. Михалев, А. А. Оболенский, В. В. Степанов, А. В. Черновалов, Г. Ф. Шершеневич и др. Роль института банкротства в развитии рыночной экономики и различные аспекты его функционирования освещаются рядом западных исследователей – Т. Бэкманом, Б. Зеллером, Т. Кейли, Р. Коулом, Р. Мертоном, Р. Найтом, А. Трунком, Р. Фостером, В. Хаусманом и др.

Нормативная база исследования представлена источниками международного (Бельгии, Великобритании, Германии, Франции) и национального права.

Основная часть

Регулирование экономической несостоятельности (банкротства) в Республике Беларусь во многом обусловлено социальной направленностью белорусской экономической модели. Имеет место уклон в сторону защиты интересов отдельных должников – естественных монополистов, государственных предприятий, режимных организаций, оборонных и стратегически значимых предприятий. К таким субъектам хозяйствования применяются исключительно меры по предупреждению несостоятельности (банкротства). Как следствие, регулирование в сфере экономической несостоятельности (банкротства) в Республике Беларусь носит ограниченно-рыночный характер.

Экономическая несостоятельность (банкротство) – важнейший институт рыночной экономики, который призван защищать права и законные интересы субъектов экономической деятельности. Однако в сложившейся национальной системе правового регулирования экономической несостоятельности (банкротства) имеются недостатки:

- негативное восприятие банкротства людьми и обществом в целом;

- недостаточная грамотность руководства и персонала предприятий в области экономической несостоятельности (банкротства);

- большая продолжительность процедуры банкротства предприятия вследствие неурегулированности отдельных ее процедур. Так, причиной длительного срока ликвидационного производства может стать вопрос реализации недвижимого имущества из-за отсутствия единого подхода к методике оценки объектов недвижимости и присутствия возможности влиять на оценку объекта недвижимости самим должником;

- неподготовленность судебной системы к рассмотрению и эффективному решению дел по банкротству и санации;

- непопулярность специализированных компаний по банкротству, санации и антикризисному управлению, что приводит к их малому количеству;

- разное отношение со стороны государства к предприятиям. Так, законодательно закреплено, что «не применяется ликвидационное производство... в отношении юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, имеющих обязательства на поставку товаров, выполнение работ, оказание услуг для государственных нужд и (или) обязанных совершить сделки, исполнение обязательств по которым обеспечено имуществом Республики Беларусь либо ее административно-территориальной единицы, в том числе обеспеченных гарантией Республики Беларусь или Правительства Республики Беларусь, а также иностранных и международных оборонных заказов, контрактов и внешнеэкономических сделок в иной форме, имеющих международный характер, выполнение которых должна обеспечить Республика Беларусь в соответствии с ее международными обязательствами» [1]. Производство по делу подлежит прекращению в отношении таких предприятий, даже если структура их баланса неудовлетворительна и предприятие неплатежеспособно;

- наличие коллизий в законодательстве Республики Беларусь. Так, статья 60 Гражданского

кодекса Республики Беларусь предусматривает четыре очереди кредиторов, в то время как в статье 141 Закона Республики Беларусь от 13 июля 2012 г. № 415-З «Об экономической несостоятельности (банкротстве)» [2] (далее – Закон) говорится о пяти очередях;

- очередность погашения требований кредиторов не является достаточно детализированной, что на практике вызывает конфликтные ситуации в работе с кредиторами;

- возможность преднамеренного банкротства (существуют бизнес-группы, сделавшие банкротство инструментом для заработка и сформировавшие рынок специфических услуг в этой области);

- недостаточная законодательная урегулированность вопросов в отношении солидарной ответственности, что затрудняет привлечение к субсидиарной ответственности виновных в банкротстве лиц. Согласно статье 11 Закона, привлечение к субсидиарной ответственности является лишь правом, а не обязанностью: «кредитор (кредиторы) или его (их) правопреемники, государственные органы, прокурор, контролирующие органы вправе предъявить иски о привлечении к субсидиарной ответственности...» – это создает предпосылки для должников по уходу от ответственности, а для управляющих – по «зарабатыванию»;

- фактически не работают содержащиеся в законодательстве нормы о финансовом оздоровлении, о чем свидетельствует статистика Высшего хозяйственного суда (табл. 1);

- несовершенство и запутанность действующего законодательства, отсутствие «видимых рамок ответственности руководителей и учредителей, а также практически отсутствие такого понятия, как стандарт справедливого и добросовестного обращения с инвесторами, кредиторами и т. п., в совокупности с довольно высокой правовой культурой» [3], что приводит к увеличению количества дел об экономической несостоятельности (банкротстве), находящихся в производстве хозяйственных судов Республики Беларусь (табл. 1);

- многочисленные ограничения со стороны государства, которые сдерживают развитие частной собственности, а значит, и возможность использовать рыночные механизмы, к которым относится институт банкротства [4];

- отсутствие системных экономических реформ, которые могут способствовать развитию новых или совершенствованию неразвитых институциональных структур;

Таблица 1

Количество дел о банкротстве в Республике Беларусь [5]
Number of bankruptcy cases in the Republic of Belarus [5]

Наименование	На 01.10.2011	На 01.08.2012	На 01.09.2013	На 01.12.2014	На 01.03.2015	На 01.01.2016
Всего, шт., в т. ч.	1583	1637	1667	2009	2334	2576
количество организаций, имеющих значение для экономики и социальной сферы Республики Беларусь	58	44	33	38	58	70
Количество организаций, %, в отношении которых:						
принято решение о банкротстве	89,7	88,6	90,9	83,7	87,6	84,3
не принято решение о банкротстве	10,3	11,4	9,1	16,3	12,4	15,7

– отсутствие достаточного числа квалифицированных экспертов по антикризисному управлению и оценке имущества и т. д.

На основании выявленных недостатков предлагаются следующие мероприятия по совершенствованию отечественного института экономической несостоятельности (банкротства):

– устранить противоречия в действующих белорусских нормативно-правовых актах об экономической несостоятельности (банкротстве);

– значительно усилить организационную роль суда в деле об экономической несостоятельности (банкротстве) для обеспечения баланса интересов должника и кредитора. Один из вариантов достижения данной цели – создание в Республике Беларусь специализированных судов по рассмотрению и разрешению споров об экономической несостоятельности (банкротстве) с расширением их полномочий;

– установить контроль над выполнением мер по предупреждению экономической несостоятельности (банкротства), предусмотреть ответственность за их невыполнение (ненадлежащее выполнение) (ст. 17 Закона предусматриваются меры по предупреждению экономической несостоятельности (банкротства), однако не предусматривается контроль над выполнением данных мер или ответственность за их невыполнение (ненадлежащее выполнение));

– разработать и ввести в действие институт банкротства физических лиц. В рамках развития рыночной экономики и гражданского оборота введение данного института в Республике Беларусь является объективной необходимостью. Наряду с принятием соответствующих законов, следует обратить внимание на повышение уровня финансовой грамотности населения;

– более четко регламентировать вопросы ликвидации субъектов предпринимательской деятельности;

– установить жесткие условия инициирования процедур экономической несостоятельности

(банкротства) должника и законодательно закрепить принцип реальной платежеспособности должника, поскольку процедура возбуждения такого дела с использованием существующих в настоящее время внешних признаков неплатежеспособности представляется достаточно рискованной, так как это может нанести непоправимый ущерб гражданскому обороту и формирующемуся институту частной собственности;

– дифференциация продолжительности реабилитационных процедур применительно к отдельным категориям должников. К примеру, в отношении таких категорий должников, как стратегические предприятия, градообразующие организации и субъекты естественных монополий, срок финансового оздоровления или внешнего управления должен быть увеличен;

– расширить полномочия суда. На сегодняшний день хозяйственный суд имеет недостаточно власти в делах о банкротстве. Так, за субъектами несостоятельности закреплено право самостоятельного выбора кандидатуры управляющего, суд же только утверждает ее. В частности, суду следует более активно принимать участие в обсуждении кандидатуры управляющего при его назначении, а также в случае его отстранения – при определении порядка реализации имущества. Иногда управляющие и кредиторы пассивны, что затягивает дело о банкротстве, и в таком случае суд мог бы вмешаться и принять необходимые меры;

– принимать во внимание мнение должника при проведении конкурсного производства, в этих целях следует скорректировать правовое регулирование и ввести в понятийный аппарат института экономической несостоятельности (банкротства) понятие «учет мнения должника». Это может служить разумным препятствием возможных злоупотреблений управляющих и кредиторов при распродаже бизнеса должника;

– при разработке новых и усовершенствовании действующих норм, регулирующих вопросы экономической несостоятельности и банкротства, необходимо учитывать мировые подходы к регулированию данных отношений и т. д.

В мировой практике существующие национальные законодательства о несостоятельности (банкротстве) в соответствии с их целевой направленностью разделяются на пять категорий: радикально прокредиторские, умеренно прокредиторские, нейтральные, умеренно продолжниковые и радикально продолжниковые. Одни национальные законодательства стремятся максимально защитить интересы кредиторов (банкротство становится способом возврата долгов кредиторам, что сопровождается ликвидацией должника, Великобритания [6–8], Германия [9]), другие (Бельгия [10], Франция [11]) – интересы должника. И тогда цель банкротства – восстановление платежеспособности организации путем проведения реорганизационных процедур. Исходя из этого, каждая страна предоставляет кредиторам разный объем прав и уровень влияния на ход процедуры ликвидации. Кроме того, в зависимости от проводимой политики государства законодательства по-разному ранжируют требования кредиторов.

Белорусское законодательство во многом соблюдает баланс интересов всех участников дела об экономической несостоятельности (банкротстве). По мнению автора, его следует отнести к умеренно продолжниковому, поскольку оно во многом направлено на реабилитацию юридического лица, сохранение и восстановление его платежеспособности, а не на ликвидацию должника как субъекта хозяйственной деятельности. Данное обстоятельство делает белорусскую систему достаточно гибкой, позволяющей в полной мере учесть условия экономической несостоятельности должника применительно к каждому конкретному случаю. Однако очередность удовлетворения требований кредиторов, установленная законодательством об экономической несостоятельности (банкротстве) в Республике Беларусь, имеет недостатки:

– очереди удовлетворения требований кредиторов описаны в общем, не прописываются детально все кредиторы, входящие в каждую из очередей;

– отсутствие ранжирования требований кредиторов внутри каждой очереди, как следствие – существуют два варианта: либо удовлетворяются требования всех кредиторов данной очереди, либо при недостаточности для этого ресурсов должника выплаты распределяются между ними пропорционально их требованиям;

– отсутствие отделения штрафных санкций от основного обязательства.

В области регламентации очередности удовлетворения требований кредиторов показательным является законодательство Бельгии [10] – каждая очередь детально описана, внутри очереди устанавливается последовательность удовлетворения требований кредиторов данной очереди. Помимо этого, рассматривается вариант конкуренции требований аналогичных кредиторов и поясняется, кто из них и при каких условиях будет иметь приоритет. В бельгийском законодательстве имеет место индивидуальный подход к каждой группе кредиторов – порядок удовлетворения требований четко и подробно описан. Примером может служить положение, что к требованиям необеспеченных кредиторов применяется принцип равной доли, обеспеченные же кредиторы не подчиняются правилу пропорционального участия в имуществе банкрота.

На основании анализа зарубежного и белорусского опыта регулирования очередности кредиторов с целью ее совершенствования автор предлагает внести коррективы в действующую очередность (табл. 2).

Законодательство об экономической несостоятельности (банкротстве) Республики Беларусь предусматривает наличие расходов, необходимых для ведения процедуры банкротства, которые должны быть возмещены вне очереди: «Вне очереди подлежат возмещению судебные расходы и расходы на опубликование сведений, предусмотренных настоящим Законом, а также производятся расчеты по обязательствам должника, возникшим после открытия конкурсного производства» (ст. 141 Закона [2]). Автор не оспаривает данную необходимость в возмещении вне очереди, однако предлагает внутри этой группы требований установить следующую очередность:

1) расходы, связанные с открытием конкурсного производства;

2) требования кредиторов, возникшие после открытия конкурсного производства. Данные требования удовлетворяются в очередности, установленной для требований кредиторов, возникших до момента открытия конкурсного производства. Выплаты по таким требованиям, в особенности оплата труда управляющего, необходимо производить прежде всего, поскольку именно от умения и заинтересованности управляющего во многом зависит успешность проводимой процедуры. Кроме того, деньги, потраченные на проведение процедуры, должны отдаваться вначале.

**Действующая очередность и проект очередности удовлетворения требований кредиторов
в Республике Беларусь**

**Current priority and priority draft for meeting creditors' claims
in the Republic of Belarus**

Порядок очереди	Очередность	
	Действующая (ст. 141 Закона [2])	Проект (авторская модель очередности)
Вне очереди	Судебные расходы и расходы на опубликование сведений, предусмотренных Законом, а также производятся расчеты по обязательствам должника, возникшим после открытия конкурсного производства: по требованиям физических лиц, которым причинен вред их жизни или здоровью; по выплате выходных пособий и оплате труда лиц, работающих (работавших) у должника по трудовым договорам (контрактам), а также по выплате вознаграждений по авторским договорам; по уплате налогов, сборов (пошлин) и иных обязательных платежей в республиканский и местные бюджеты, включая государственные целевые бюджетные фонды, и по уплате обязательных страховых взносов и иных платежей в Фонд социальной защиты населения Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь	1. Расходы, связанные с открытием конкурсного производства. 2. Требования кредиторов, возникшие после открытия конкурсного производства (удовлетворяются в очередности, установленной для требований кредиторов, возникших до момента открытия конкурсного производства)
Первая	Требования физических лиц, перед которыми должник несет ответственность за причинение вреда их жизни или здоровью путем капитализации соответствующих повременных платежей	1. Требования физических лиц, перед которыми должник несет ответственность за причинение вреда их жизни или здоровью путем капитализации соответствующих повременных платежей. 2. Расчеты с работниками по трудовым договорам (контрактам) и гражданско-правовым договорам
Вторая	Расчеты по выплате выходных пособий, оплате труда лиц, работающих (работавших) у должника по трудовым договорам (контрактам) и гражданско-правовым договорам, по обязательным страховым взносам, взносам на профессиональное пенсионное страхование, иным платежам в Фонд социальной защиты населения, а также по уплате страховых взносов по обязательному страхованию от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний	Требования по обязательным платежам только по основной части долга
Третья	Требования по обязательным платежам (за исключением отнесенных ко второй и к пятой очередям)	Требования кредиторов по обязательствам, обеспеченным залогом имущества должника только по основной части долга
Четвертая	Требования кредиторов по обязательствам, обеспеченным залогом имущества должника	Все оставшиеся требования, однако только по основной части долга
Пятая	Другие требования кредиторов	Требования кредиторов второй, третьей и четвертой очереди по неосновной части долга (штрафы, проценты): требования по обязательным платежам; требования кредиторов по обязательствам, обеспеченным залогом имущества должника; все оставшиеся требования
Шестая		Удовлетворение требований учредителей (участников)

ВЫВОД

В целом в Республике Беларусь сложился достаточно эффективный институт несостоятельности (банкротства) и, в частности, система реализации прав кредиторов. Однако в действующей системе регулирования экономической несостоятельности (банкротства) имеется ряд недостатков, которые необходимо устраи-

вать, поскольку они в значительной степени затрагивают интересы не только субъектов экономической несостоятельности (банкротства), но и государства. Решением выявленных недостатков может стать следование предложенным автором рекомендациям по совершенствованию института несостоятельности (банкротства) в Республике Беларусь.

ЛИТЕРАТУРА

REFERENCES

1. О некоторых вопросах практики применения законодательства, регулирующего вопросы экономической несостоятельности (банкротства) [Электронный ресурс]: постановление пленума Высшего хозяйственного суда Республики Беларусь, 2 декабря 2005 г. № 30 // Информационный портал «Бусел». Режим доступа: <http://www.busel.org/texts/cat3aq/id5rwqeud.htm>. Дата доступа: 06.03.2016.
2. Об экономической несостоятельности (банкротстве) [Электронный ресурс]: Закон Республики Беларусь, 13 июля 2012 г. № 415-3 // Информационно-аналитический ресурс Банкротство.Бю. Режим доступа: <http://www.bankrot.by/zak>. Дата доступа: 15.04.2016.
3. Иевлев, Д. В. О проблемах законодательства в банкротстве [Электронный ресурс]. КонсультантПлюс. Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2011.
4. Байнев, В. Совершенствование системы экономической несостоятельности (банкротства) в Республике Беларусь / В. Байнев // Финансы. Учет. Аудит. 2003. № 6 (113). С. 74.
5. Справка по делам об экономической несостоятельности (банкротстве), находящимся в производстве хозяйственных судов [Электронный ресурс] // Информационно-аналитический ресурс Банкротство.Бю. Режим доступа: <http://www.bankrot.by/oa>. Дата доступа: 04.04.2016.
6. Companies Act 1985 (Audit Exemption) (Amendment) Regulations 2000 [Electronic resource]. UK Statutory Instruments, 2000 № 1430 // The National Archives. Access mode: <http://www.legislation.gov.uk/uksi/2000/1430/re> sources. Access Date: 13.04.2016.
7. Законодательство Великобритании о банкротстве [Электронный ресурс] // Комитет по вопросам собственности. Режим доступа: <http://komitet2-5.km.duma.gov.ru/site.xp/051052051.html>. Дата доступа: 11.03.2016.
8. Insolvency Act 2000. Chapter 39. UK Public General Acts // The National Archives [Electronic resource]. Access Mode: <http://www.legislation.gov.uk/ukpga/2000/39/contents>. Access Date: 13.04.2016.
9. О регулировании порядка производства по делам о несостоятельности [Электронный ресурс]: Закон Федеративной Республики Германия, 5 октября 1994 г. // Корпорация антикризисного управления. Режим доступа: www.kay.by/documents/Insolvenzordnung.doc. Дата доступа: 11.02.2016.
10. Gesetz über die Kontinuität der Unternehmen von 31. JANUAR 2009 [Electronic resource]. Access Mode: <http://www.scta.be/MalmedyUebersetzungen/downloads/20090131.eco.doc>. Access date: 13.04.2016.
11. В отношении оздоровления и судебной ликвидации предприятий (Relative au Redressement et a la Liquidation Judiciaire des Enterprises) [Электронный ресурс]: Законодательный акт Республики Франция в области банкротства, 25.01.1985 № 85-88. Режим доступа: <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000693911>. Дата доступа: 13.04.2016.
1. On Some Issues for Practical Application of Legislation Regulating Problems on Economic Insolvency (Bankruptcy): Decree of Plenum of Supreme Economic Court of the Republic of Belarus, 02 December 2005, No 30. *Information portal "Busel"* [Stork]. Available at: <http://www.busel.org/texts/cat3aq/id5rwqeud.htm>. (Accessed: 6 March 2016) (in Russian).
2. On Economic Insolvency (Bankruptcy): Law of the Republic of Belarus, 13 July 2012, No 415-3. *Information and Analytical Resource BY – Bankruptcy*. Available at: <http://www.bankrot.by/zak>. (Accessed: 15 April 2016) (in Russian).
3. Ievlev D. V. (2011) On Issues for Legislation in Bankruptcy. *Consultant Plus. Belarus*. Electronic Resource. Minsk.
4. Baynev V. (2003) Improvement of System for Economic Insolvency (Bankruptcy) in the Republic of Belarus. *Finansy. Uchet. Audit* [Finances. Records. Audits], 113 (6), 74.
5. History of Cases on Economic Insolvency (Bankruptcy) Being Examined by Economic Courts. *Information and Analytical Resource BY – Bankruptcy*. Available at: <http://www.bankrot.by/oa>. (Accessed: 4 April 2016) (in Russian).
6. Companies Act 1985 (Audit Exemption) (Amendment) Regulations 2000. UK Statutory Instruments No 1430. *The National Archives*. Available at: <http://www.legislation.gov.uk/uksi/2000/1430/contents/made>. (Accessed: 13 April 2016).
7. UK Legislation on Bankruptcy. *Property Committee*. Available at: <http://komitet2-5.km.duma.gov.ru/site.xp/051052051.html>. (Accessed: 11 March 2016) (in Russian).
8. Insolvency Act 2000. Chapter 39. UK Public General Acts. *The National Archives*. Available at: <http://www.legislation.gov.uk/ukpga/2000/39/contents>. (Accessed: 13 April 2016).
9. On Regulation of the Procedure for Insolvency Cases: Law of Federative Republic of Germany, 5 October 1994. *Corporation of Anti-Crisis Management*. Available at: www.kay.by/documents/Insolvenzordnung.doc. (Accessed: 11 February 2016) (in Russian).
10. *Gesetz über die Kontinuität der Unternehmen von 31. JANUAR 2009*. Available at: <http://www.scta.be/MalmedyUebersetzungen/downloads/20090131.eco.doc>. (Accessed: 13 April 2016) (in German).
11. *Relative au Redressement et a la Liquidation Judiciaire des Enterprises* [On Health Restoring and Judicial Liquidation of Enterprises Bankruptcy Legislation Act of the French Republic, 25.01.1985 No 85-88]. Available at: <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000693911>. (Accessed: 13 April 2016) (in French).

Received: 18.04.2016

Accepted: 20.06.2016

Published online: 29.11.2016

Поступила 18.04.2016

Подписана в печать 20.06.2016

Опубликована онлайн 29.11.2016

DOI: 10.21122/2227-1031-2016-15-6-528-535

Analysis of Efficiency of Research & Development Activities among Countries with Developed and Developing Economies Including Republic of Belarus while Using Method of Stochastic Frontier Approach

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

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

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

Abstract. This study evaluates efficiency of Research & Development (R&D) activities based on the stochastic frontier analysis across 69 countries with developed and developing economies. The following indicators have been used as input indices (resources) for calculation of R&D efficiency: number of researchers per one million inhabitants, number of engineers and technicians per one million inhabitants, gross domestic expenditures on R&D in purchasing power parity (in US dollars). Such indices as number of patents granted to residents by National Patent Bureau and number of scientific and technical journal articles have been considered as R&D outputs. The executed analysis has revealed that there are a number of countries including Costa Rica, Israel and Singapore which have the best indices in terms of transformation of available resources into R&D results. Meanwhile, with regard to Belarus it is necessary to note that additional investments in R&D must go together with increasing efficiency of available resources' usage.

Keywords: Research & Development, efficiency, stochastic frontier analysis

For citation: Zhukovski I. V., Gedranovich A. B. (2016) Analysis of Efficiency of Research & Development Activities among Countries with Developed and Developing Economies Including Republic of Belarus while Using Method of Stochastic Frontier Approach. *Science & Technique*. 15 (6), 528–535

УДК 338.001.36

Анализ эффективности научно-исследовательской деятельности в развитых и развивающихся странах, включая Республику Беларусь, с использованием метода стохастического анализа данных

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

¹⁾Белорусский государственный университет (Минск, Республика Беларусь)

Реферат. В статье исследуется вопрос оценки эффективности научно-исследовательской деятельности 69 стран мира с развитой и развивающейся экономикой с помощью метода стохастического анализа данных (Stochastic Frontier Analysis, SFA). В качестве входных показателей (ресурсов) для расчета эффективности использовали следующие индикаторы: количество ученых на один миллион населения, количество инженеров и технического персонала на один миллион населения, затраты на научно-исследовательские разработки по паритету покупательской способности (в долларах США). Такие показатели, как количество патентов, выданных национальными патентными бюро резидентам, и количество опубликованных научных статей, были использованы как результаты научно-исследовательской деятельности. Проведенный анализ показал, что имеется ряд стран, таких как Коста-Рика, Израиль и Сингапур, с наилучшими показателями трансформации имеющихся ресурсов в результаты научно-исследовательской деятельности. В то же время, если говорить о Республике Беларусь, то дополнительное финансирование научно-

Адрес для переписки

Жуковский Игорь Владимирович
Белорусский государственный университет
ул. Карла 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
Karl Marx str., 31,
220050, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 327-25-21
6786544@gmail.com

исследовательской деятельности должно сопровождаться повышением эффективности использования имеющихся ресурсов.

Ключевые слова: научно-исследовательская деятельность, эффективность, метод стохастического анализа данных

Для цитирования: Жуковский, И. В. Анализ эффективности научно-исследовательской деятельности в развитых и развивающихся странах, включая Республику Беларусь, с использованием метода стохастического анализа данных / И. В. Жуковский, А. Б. Гедранович // *Наука и техника*. 2016. Т. 15, № 6. С. 528–535

Introduction

R&D is a crucial element for technological change and innovation at firm and national level as it leads to the welfare of nation via achieving productivity growth and creation of unique competitive advantage [1]. Countries which invest extensively in R&D can be considered as leaders in economic improvements. As a result, the creation of strong R&D capacities becomes an urgent issue for the least developed and developing countries, as without building strong R&D and innovation system they miss a chance to improve their technologies and can engage into market competition with developed countries [2, 3].

As national governments consider R&D as a main driving force for countries' competitive advantage, they have introduced various national R&D programs which main aim is to raise R&D investments [4, 5]. For instance it is the State Program of Innovation Development in Belarus which main aim is to provide economic growth and improve competitiveness of national economy by investing in R&D and innovation.

According to Wang and Huang [6] R&D investment is one of the most important elements for supporting scientific and technological progress, countries that are not using the funds effectively cannot succeed in the implementation of their national R&D programs [7]. In addition to this inefficient allocation and usage of limited resources leads to the situation when additional investments in R&D will not accelerate the economic growth and do not have a positive effect in the new knowledge creation. Since R&D investment is one of the most crucial elements in promoting scientific and technological progress [6, 8, 9].

In this case the evaluation of R&D programs' efficiency is extremely important in terms of better reallocation of the limited resources and improvement or closure of programs which do not give sufficient results. Most of the authors address the problem of engaging new R&D investment rather than evaluating the efficiency of usage of the resource which was allocated to the R&D [10].

This can be explained by the problem of different approaches and the aim of national R&D programs that has been set by national governments [11].

Study of the relative efficiency of R&D activities across developed and developing countries (including Belarus) can be the key to the developing policies which can better distribute limited resource and give sufficient results. According to this the purpose of this study is to measure and compare the technical efficiency of R&D activities among developed and developing countries (including Belarus) based on the stochastic frontier approach in order to evaluate the results and find possible improvements of Belarus national R&D policies.

In this study countries will be studied as decision-making unites (DMU) which perform R&D, at the same time R&D will be considered as a production process [12, 13]. The novelty of this study consist in evaluation of technical efficiency of developed and developing countries (including Belarus) implementing R&D programs by means of the stochastic frontier analysis. The sample of 69 countries is used to build a necessary framework and understand the possible efficiency of R&D activities in Belarus compared to other countries and to make recommendation for the improvement of the national R&D system in Belarus. This study is based on the works of authors who investigated the R&D and its influence on the countries' economies, as well as the efficiency of R&D among countries [10].

The impact of R&D programs on the economy and economic growth has been studied in different aspects by many authors. It is established both on firm and industry levels that investments in R&D lead to new and improved technologies of production of goods as well as productivity growth. The empirical researches have proved that all positive effects of R&D also result in better return on investment [13–16].

More efforts have been devoted to the measuring of efficiency of R&D at country, industry

and company levels in recent years. There are two major approaches usually used to measure the production efficiency, i. e. data envelopment analysis (DEA) which applies linear programming to define the efficiency frontier [17–19] and stochastic frontier analysis (SFA) which is based on the econometric techniques to estimate efficiency.

The most recent study evaluated a group of 22 developed and developing counties using the data envelopment analysis. The authors have used two DEA models with constant return of scale and variable return of scale. Both models have used gross domestic expenditures on R&D and number of researchers as inputs and patents granted to residents as output. In case of the first DEA model such countries as Japan, the Republic of Korea and China got the highest level of efficiency, in case of the second model India, Slovenia and Hungary were added to the mentioned three countries. It was summarized that some developing countries which have not utilized R&D resources in efficient way have a great opportunity for economic growth and development [20].

Another paper utilizes data envelopment analysis for efficiency evaluation and Tobit regression for controlling external environment. The authors have used capital stock and manpower as inputs and patents and academic publications as outputs for their model and applied it to 30 countries. According to their findings more than two-thirds of the countries can improve their R&D performance and less than 50 % are fully efficient [6].

One of the authors of a previous study has extended it for 30 countries and has used the same inputs (capital stock and manpower) and outputs (patents and academic publications) with application of stochastic frontier analysis. Environmental factors have been included in the study as well. The mean score of efficiency in the first model excluding environmental factors is about 0.65. The mean score rose to 0.85 after adding environmental factors. One of the main findings is that it has revealed a positive correlation between efficiency and per capita income [10].

The efficiency of a country R&D performance has been examined by other researches using the data envelopment analysis. The authors treat GDP, active population and R&D expenditure as inputs, and publications and patents as outputs for 18 developed countries. They found out that 7 Euro-

pean countries have the highest efficiency in all tests [21].

To sum up there are a plenty of studies which examine R&D efficiency on different levels such as a company, industry and country level. Data envelopment analysis and stochastic frontier analysis are the most popular methods of efficiency evaluation. However these studies pay little attention to the problem of R&D efficiency among developing countries compared to developed countries. There is no information about the performance of the R&D national system in Belarus compared to other countries either.

Methodology

This paper is using SFA to estimate the inter-country efficiency of R&D activities. SFA is based on the econometric theory specifically on the production function. Countries are considered as DMU utilizing different resources such as R&D manpower (in terms of this study – researches and technicians) and financial investments in order to achieve tangible results such as patents and scientific articles. A trans log specification will be chosen as the Functional form of the production technology.

Aigner et al. [22] and Meeusen and van den Broeck [23] have developed and introduced a simultaneous SFA. They found out that there exists a parametric function between production inputs and outputs. There are several advantages of SFA such as measurement of technical inefficiency and acknowledgement that output results can be affected by random shocks. According to this the error term consist of two parts: the first part is a one-sided component that captures the effects of inefficiency relative to the stochastic frontier, and a symmetric component that permits random variation of the frontier across DMUs, and captures the effects of a measurement error, other statistical noise, and random shocks outside the firms control [24].

The base SFA model after the log transformation is:

$$\begin{aligned} y^k &= f(x^k; \beta) + v^k - u^k; \\ &+ (0, \sigma_u^2), \quad k=1, \dots, K; \\ v^k &N(0, \sigma_v^2), \quad u^k N_+, \end{aligned}$$

where y^k – the observed outcome (goal attainment); x^k – a vector of (transformations of the) input and

output of the k -th DMU; β – a vector of unknown parameters; v^k – the stochastic part and possible measurement errors of inputs and output; u^k – the possible inefficiency of the firm.

It is supposed that the terms v and u are independent. The 100 % efficiency is achieved by the DMU $u = 0$, and, and the inefficiency exists when $u > 0$. The N_+ denotes a half-normal distribution, i. e. a truncated normal distribution where the point of truncation is 0 and the distribution is concentrated on the half-interval $[0, \infty[$ (the support) [25].

To sum up it is possible to estimate the efficiency of individual decision making unites by means of SFA. As a result it allows to find out DMUs and to take measure to improve their performance. In addition to this it is possible to measure the influence of environmental variables on the efficiency scores.

Data and experiment description

According to the literature there are a lot of approaches to the inputs and outputs data used for estimating R&D efficiency. Gross domestic expenditures on R&D (GERD) are measured by purchasing power parity (PPP) and scientific manpower includes researchers in R&D and technicians in R&D (per millions of people) [6, 10, 20, 26]. In terms of the output variables patent application is one the most important indicator showing the result of R&D policies [27, 28] the number of publications of academic papers can be used as well [10, 20, 29].

The time lag is an integral part of the R&D process as the investments and other inputs taking place during implementation of R&D policy do not lead to immediate results [30, 31]. Two year time lag has been chosen based on the studies of [10, 16, 20, 32]. Input data were collected for the year 2011 and output data for the year 2013 respectively.

The sample of 69 developing and developed countries (including Belarus) has been used in this

study. Quantitative input and output data have been collected in official sources such as the World Bank, UNESCO and WIPO IP Statistics Data Center databases. Tabl. 1 represents the full model with data, sources of the data and years of data extraction.

Due to the specific nature of the stochastic frontier analysis the output raw data have been merged in one indicator. As the patent is one of the most important results of R&D activities a weight of 0.785 has been assigned to it while the scientific and technical journal articles' acquired a weight of 0.215 [10]. This part of the paper contains a comprehensive review of the data and the analytical model subject to the examination. The data indicators for 69 countries have been extracted from existing literature and releases of the international and universally recognized organizations such as UNESCO Institute of Statistics and the World Bank.

Findings

The estimation results of the R&D efficiency framework are displayed in tabl. 2. In this model, the estimated λ parameter is 0.78, that means that the total error variance is mainly due to inefficiency, whereas random errors are less important. The percentage of the total variation due to variation inefficiency constitutes 38 %. The estimated variance due to random errors is $\sigma_v^2 = 0.18$ larger than variance for the variation inefficiency $\sigma_u^2 = 0.11$. All input variables are significant.

The individual efficiency scores are represented in tabl. 3. The mean score of technical efficiency is 0.713552, the maximum and minimum scores are 0.8791 and 0.5268 respectively. The efficiency score of Belarus equals to 0.7837 which is approximately 10 % more compared to the mean score.

Table 1

Input and output data variables

	Indicator	Year	Source
Inputs	Gross domestic expenditures on R&D in PPP	2011	UNESCO Institute of Statistics
	Researchers per million inhabitants	2011	UNESCO Institute of Statistics
	Technicians per million inhabitants		UNESCO Institute of Statistics
Output	Patents Granted to residents	2013	WIPO IP Statistics Data Center
	Scientific and technical journal articles	2013	The World Bank

Table 2

Estimation results of R&D efficiency

	Parameters	Std. err	t-value	Pr (> t)
(Intercept)	-5.1199	0.63009	-8.1256	0
xResearchers	0.1113	0.08141	1.3672	0.176
xTechnician	-0.1914	0.07642	-2.5039	0.014
xGERD	0.9019	0.02762	32.6579	0
λ	0.7854	1.23886	0.6339	0.528
$\sigma^2 =$	0.30015			
$\sigma^2_v =$	0.1856466	$\sigma^2_u =$	0.1145064	
log likelihood =	-46.74776			
Convergence	4			

Table 3

Individual R&D efficiency scores and country ranks

Country rating	Country	Individual efficiency scores	Country rating	Country	Individual efficiency scores
1	Costa Rica	0.5268	36	US	0.7791
2	Singapore	0.6248	37	Belarus	0.7837
3	Israel	0.6499	38	Moldova	0.7838
4	Tajikistan	0.6596	39	Mongolia	0.7839
5	Argentina	0.6708	40	Canada	0.7843
6	Madagascar	0.6709	41	Montenegro	0.7852
7	Azerbaijan	0.6753	42	France	0.7887
8	Mexico	0.6788	43	Russian	0.7898
9	Finland	0.6836	44	UK	0.7942
10	Iceland	0.6878	45	Bulgaria	0.7972
11	Estonia	0.6942	46	Czech	0.8030
12	Egypt	0.6951	47	Slovak	0.8040
13	Brazil	0.7051	48	Netherlands	0.8068
14	Luxembourg	0.7079	49	Chile	0.8075
15	South Africa	0.7142	50	Spain	0.8075
16	Norway	0.7246	51	Macedonia	0.8080
17	India	0.7290	52	Ukraine	0.8087
18	Pakistan	0.7367	53	Latvia	0.8159
19	Hungary	0.7381	54	New Zealand	0.8172
20	Austria	0.7388	55	Italy	0.8250
21	Switzerland	0.7407	56	Cyprus	0.8266
22	Malaysia	0.7409	57	Colombia	0.8281
23	Ireland	0.7441	58	Trinidad Tobago	0.8340
24	Denmark	0.7454	59	Poland	0.8405
25	Sweden	0.7474	60	Croatia	0.8408
26	Belgium	0.7488	61	Greece	0.8430
27	Thailand	0.7491	62	Serbia	0.8434
28	Turkey	0.7568	63	Romania	0.8456
29	Tunisia	0.7610	64	China	0.8473
30	Germany	0.7623	65	Kazakhstan	0.8484
31	Portugal	0.7633	66	Kyrgyz	0.8533
32	Australia	0.7642	67	Japan	0.8636
33	Cuba	0.7642	68	Armenia	0.8638
34	Lithuania	0.7713	69	South Korea	0.8791
35	Malta	0.7779			

The distribution of the individual efficiency scores is represented on fig. 1.

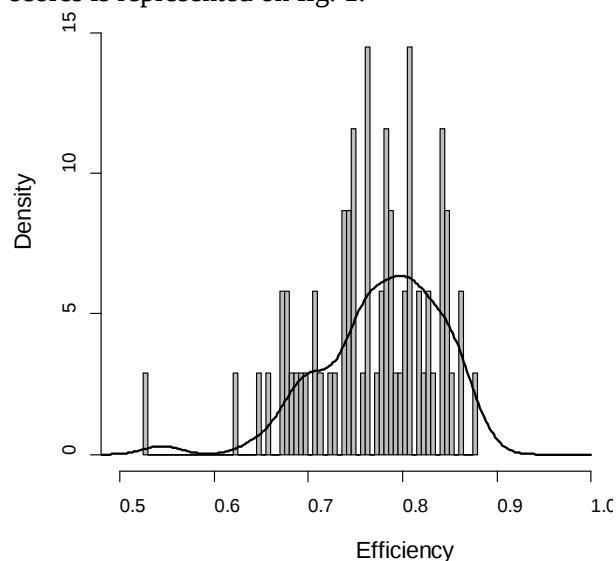


Fig. 1. Distribution of individual efficiency scores

According to the results it can be concluded that Belarus has a great potential of increasing efficiency of using R&D resources. Such countries as Costa Rica, Israel and Singapore are among the leaders. Countries with insufficient investments in R&D such as Tajikistan, Madagascar and Azerbaijan also get into the same group, as a result even small inputs give effects allowing them to get a high efficiency score compared to other countries. At the same time South Korea, Japan show low efficiency of the transformation of R&D resources of the results of R&D activities however these countries internationally recognized as R&D leaders and countries with a strong R&D policies. Such results can be explained by several factors: this countries invest in long terms investigation which bring result in a period of time longer than two years, another factor is that it is preferable to get patent protection from the United States patent and trademark office rather than for national Patent office.

CONCLUSION

The current study aims at the evaluation of the technical efficiency of using R&D resources among developed and developing countries (including Belarus) using Stochastic Frontier Analysis. The main distinction of the study compared to the previous papers is that there are countries who-

se R&D expenditures are below or above 0.75 % of GDP due to strengthening of globalization and competition. So efficient usage of R&D resources will give small developing countries great opportunities for economic improvements and competition with the developed countries. Belarus has R&D potential, as it possesses good and qualified R&D personnel, according to the UNESCO Institute of Statistics it is 2073 per million inhabitants, at the same time the R&D expenditures (% to GDP) during the last three years constituted around 0.7 % of GDP which is not enough for a normal functioning R&D system according to the OECD.

However Belarus individual efficiency score shows that increasing the R&D expenditures may not lead to sufficient economic outcomes. In this case it is possible to raise investments in R&D only with the improvement of efficiency performance. In this context it is extremely important for policy makers to revise R&D programs along with innovation programs to find out the unique scientific projects which can become a driver of Belarus economy. In addition to the policy revision it is necessary to study performance of the research institutions in Belarus.

REFERENCES

1. Edquist C., McKelvey M. (2000) Systems of Innovation Approaches – Their Emergence and Characteristics. *Systems of Innovation: Growth, Competitiveness and Employment*. Cheltenham, UK, 2000, 3–37.
2. Kalotay K., Pollan T., Fredriksson T. (2005) *Globalization of R&D and Developing Countries: Proceedings of the Expert Meeting*. Geneva and New York, United Nations Publication. UNSTAD. 242.
3. Pearce R. D. (1999) Decentralised R&D and Strategic Competitiveness: Globalised Approaches to Generation and use of Technology in Multinational Enterprises (MNEs). *Research Policy*, 28 (2), 157–178. Doi: 10.1016/S0048-7333(98)00115-2.
4. Lee M., Son B., Om K. (2007) Evaluation of National R&D Projects in Korea. *Research Policy*, 25 (5), 805–818. Doi: 10.1016/0048-7333(96)00879-7.
5. Roessner J. D. (1989) Evaluating Government Innovation Programs: Lessons from the US Experience. *Research Policy*, 18 (6), 343–359. Doi: 10.1016/0048-7333(89)90022-x.
6. 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.
7. Kim J., Cho H., Park Y., Kim Y., Jeon J. (2013) A Balanced Scorecard for Identifying Factors of Strategic Fit of National R&D Program on the Creative Economy Policy. *World Academy of Science, Engineering and Techno-*

- logy. *International Journal of Mechanical. Aerospace. Industrial. Mechatronic and Manufacturing Engineering*, 7 (10), 980–984.
8. Meliciani V. (2000) The Relationship Between R&D. Investment And Patents: a Panel Data Analysis. *Applied Economics*, 32 (11), 1429–1437. Doi: 10.1080/00036840050151502.
9. Hartmann G. C. (2003) Linking R&D Spending to Revenue Growth. *Research-Technology Management*, 46 (1), 39–46.
10. Wang E. C. (2007) R&D Efficiency and Economic Performance: A Cross-Country Analysis Using the Stochastic Frontier Approach. *Journal of Policy Modeling*, 29 (2), 345–360. Doi: 10.1016/j.jpolmod.2006.12.005.
11. Lee H., Park Y., Choi H. (2008) Comparative Evaluation of Performance of National R&D Programs with Heterogeneous Objectives: a DEA approach. *European Journal of Operational Research*, 196 (3), 847–855. Doi: 10.1016/j.ejor.2008.06.016.
12. Pakes A., Griliches Z. (1980) Patents and R&D at the Firm Level: a First Report. *Economics Letters*, 5 (4), 377–381. Doi: 10.1016/0165-1765(80)90136-6.
13. Griliches Z. (1990) Patent Statistics as Economic Indicators: A Survey. *Journal of Economic Literature*, 28 (4), 1661–1707. Doi: 10.3386/w3301.
14. Griliches Z. (1986) Productivity, R&D, and Basic Research at the Firm Level in the 1970s. *American Economic Review*, 76 (1), 141–154. Doi: 10.3386/w1547.
15. Mansfield E. (1988) Industrial R&D in Japan and the United States: A Comparative Study. *The American Economic Review*, 78 (2), 223–228.
16. Goto A., Suzuki K. (1989) R&D Capital, Rate of Return on R&D Investment and Spillover of R&D in Japanese Manufacturing Industries. *The Review of Economics and Statistics*, 71 (4), 555–564. Doi: 10.2307/1928096.
17. Lee H. Y., Park Y. T. (2005) An international Comparison of R&D Efficiency: DEA Approach. *Asian Journal of Technology Innovation*, 13 (2), 207–222. Doi:10.1080/19761597.2005.9668614.
18. Kocher M. G., Luptacik M., Sutter M. (2006) Measuring Productivity of Research in Economics: a Cross-Country Study Using DEA. *Socio-Economic Planning Sciences*, 40 (4), 314–332. Doi: 10.1016/j.seps.2005.04.001.
19. 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. *Nauka i Tekhnika* [Science & Technique], 15 (2), 154–163. Doi: 10.21122/2227-1031-2016-15-2-154-163 (in Russian).
20. 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.
21. Rousseau S., Rousseau R. (1997) Data Envelopment Analysis as a Tool for Constructing Scientometric Indicators. *Scientometrics*, 40 (1), 45–56. Doi: 10.1007/bf02459261.
22. Aigner D., Lovell C. K., Schmidt P. (1977) Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models. *Journal of Econometrics*, 6 (1), 21–37. Doi: 10.1016/0304-4076(77)90052-5.
23. Meeusen W., Broeck J. V. D. (1977) Efficiency Estimation From Cobb-Douglas Production Functions with Composed Error. *International Economic Review*, 18 (2), 435–444. Doi: 10.2307/2525757.
24. Kevin Cullinane, Teng-Fei Wangb, Dong-Wook Songc, Ping Jid (2006) The Technical Efficiency of Container Ports: Comparing Data Envelopment Analysis and Stochastic Frontier Analysis. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 40 (4), 354–374. Doi: 10.1016/j.tra.2005.07.003.
25. Bogetoft P., Otto L. (2010) Benchmarking with DEA, SFA and R. New York, Springer, 157. 365. Doi: 10.1007/978-1-4419-7961-2.
26. Jiancheng G., Junxia W. (2004) Evaluation and Interpretation of Knowledge Production Efficiency. *Scientometrics*, 59 (1), 131–155. Doi: https://doi.org/10.1023/b:scie.0000013303.25298.ae.
27. Pavitt K. (1985) Patent Statistics as Indicators of Innovative Activities: Possibilities and Problems. *Scientometrics*, (7), (1–2), 77–99. Doi: 10.1007/bf02020142.
28. Fleischer M. (1999) Innovation, Patenting and Performance. *Economie Appliquée*, 52 (2), 95–120.
29. Adams J. D., Griliches Z. (2000) Research Productivity in a System of Universities. *The economics and Econometrics of Innovation*. US, Springer, 105–140. Doi: 10.1007/978-1-4757-3194-1_5.
30. Hall B. H., Griliches Z., Hausman J. A. (1986) Patents and R&D: is there a Lag? *International Economic Review*, 27 (2), 265–284. Doi: https://doi.org/10.2307/2526504.
31. Griliches Z. (1979) Issues in Assessing the Contribution of Research and Development to Productivity Growth. *The Bell Journal of Economics*, 10 (1), 92–116. Doi: 10.2307/3003321.
32. Guellec D., Van Pottelsberghe de la Potterie D. (2004) From R&D to Productivity Growth: do the Institutional Settings and the Source of Funds of R&D Matter? *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 66 (30), 353–378. Doi: 10.1111/j.1468-0084.2004.00083.x.

Received: 06.07.2016

Accepted: 09.09.2016

Published online: 29.11.2016

ЛИТЕРАТУРА

1. Edquist, C. Systems of Innovation Approaches – their Emergence and Characteristics / C. Edquist, M. McKelvey // Systems of Innovation: Growth, Competitiveness and Employment. Cheltenham: UK, 2000. P. 3–37.
2. Globalization of R&D and Developing Countries: Proceedings of the Expert Meeting / Edited by K. Kalotay. T. Pollan, T. Fredriksson. Geneva and New York: United Nations Publication. UNSTAD, 2005. 242 p.
3. Pearce, R. D. Decentralized R&D and Strategic Competitiveness: Globalized Approaches to Generation and Use of Technology in Multinational Enterprises (MNEs) / R. D. Pearce // Research Policy. 1999. Vol. 28, No 2. P. 157–178.
4. Lee, M. Evaluation of National R&D Projects in Korea / M. Lee, B. Son, K. Om // Research Policy. 2007. Vol. 25, No 5. P. 805–818.
5. Roessner, J. D. Evaluating Government Innovation Programs: Lessons from the US Experience / J. D. Roessner // Research Policy. 1989. Vol. 18, No 6. P. 343–359.

6. 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, No 2. P. 260–273.
7. A Balanced Scorecard for Identifying Factors of Strategic Fit of National R&D Program on the Creative Economy Policy / J. Kim [et al.] // *World Academy of Science. Engineering and Technology. International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*. 2013. Vol. 7, No 10. P. 980–984.
8. Meliciani, V. The Relationship Between R&D, Investment and Patents: a Panel Data Analysis / V. Meliciani // *Applied Economics*. 2000. Vol. 32, No 11. P. 1429–1437.
9. Hartmann, G. C. Linking R&D Spending to Revenue Growth / G. C. Hartmann // *Research-Technology Management*. 2003. Vol. 46, No 1. P. 39–46.
10. Wang, E. C. R&D Efficiency and Economic Performance: a Cross-Country Analysis Using the Stochastic Frontier Approach / E. C. Wang // *Journal of Policy Modeling*. 2007. Vol. 29, No 2. P. 345–360.
11. Lee, H. Comparative Evaluation of Performance of National R&D Programs with Heterogeneous Objectives: a DEA Approach / H. Lee, Y. Park, H. Choi // *European Journal of Operational Research*. 2008. Vol. 196, No 3. P. 847–855.
12. Pakes, A. Patents and R&D at the Firm Level: a First Report / A. Pakes, Z. Griliches // *Economics Letters*. 1980. Vol. 5, No 4. P. 377–381.
13. Griliches, Z. Patent Statistics as Economic Indicators: a Survey / Z. Griliches // *Journal of Economic Literature*. 1990. Vol. 28, No 4. P. 1661–1707.
14. Griliches, Z. Productivity R&D and Basic Research at the Firm Level in the 1970s / Z. Griliches // *American Economic Review*. 1986. Vol. 76, No 1. P. 141–154.
15. Mansfield, E. Industrial R&D in Japan and the United States: a Comparative Study / E. Mansfield // *The American Economic Review*. 1988. Vol. 78, No 2. P. 223–228.
16. Goto, A. R&D Capital Rate of Return on R&D Investment and Spillover of R&D in Japanese Manufacturing Industries / A. Goto, K. Suzuki // *The Review of Economics and Statistics*. 1989. Vol. 71, No 4. P. 555–564.
17. Lee, H. Y. An International Comparison of R&D Efficiency: DEA Approach / H. Y. Lee, Y. T. Park // *Asian Journal of Technology Innovation*. 2005. Vol. 13, No 2. P. 207–222.
18. Kocher, M. G. Measuring Productivity of Research in Economics: a Cross-Country Study Using DEA / M. G. Kocher, M. Luptacik, M. Sutter // *Socio-Economic Planning Sciences*. 2006. Vol. 40, No 4. P. 314–332.
19. Жуковский, И. В. Межстрановый 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.
20. Sharma, S. Inter-Country R&D Efficiency Analysis: an Application of Data Envelopment Analysis / S. Sharma, V. Thomas // *Scientometrics*. 2008. Vol. 76, No 3. P. 483–501.
21. Rousseau, S. Data Envelopment Analysis as a Tool for Constructing Scientometric Indicators / S. Rousseau, R. Rousseau // *Scientometrics*. 1997. Vol. 40, No 1. P. 45–56.
22. Aigner, D. Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models / D. Aigner, C. K. Lovell, P. Schmidt // *Journal of Econometrics*. 1977. Vol. 6, No 1. P. 21–37.
23. Meeusen, W. Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Functions with Composed Error / W. Meeusen, J. V. D. Broeck // *International Economic Review*. 1977. Vol. 18, No 2. P. 435–444.
24. The Technical Efficiency of Container Ports: Comparing Data Envelopment Analysis and Stochastic Frontier Analysis / K. Cullinane [et al.] // *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2006. Vol. 40, No 4. P. 354–374.
25. Bogetoft, P. Benchmarking with DEA, SFA and R / P. Bogetoft, L. Otto. New York: Springer, 2010. Vol. 157. 365 p.
26. Jiancheng, G. Evaluation and Interpretation of Knowledge Production Efficiency / G. Jiancheng, W. Junxia // *Scientometrics*. 2004. Vol. 59, No 1. P. 131–155.
27. Pavitt, K. Patent Statistics as Indicators of Innovative Activities: Possibilities and Problems / K. Pavitt // *Scientometrics*. 1985. Vol. 7, No 1–2. P. 77–99.
28. Fleischer, M. Innovation, Patenting and Performance / M. Fleischer // *Economie Appliquée*. 1999. Vol. 52, No 2. P. 95–120.
29. Adams, J. D. Research Productivity in a System of Universities / J. D. Adams, Z. Griliches // *The Economics and Econometrics of Innovation*. Springer: US, 2000. P. 105–140.
30. Hall, B. H. Patents and R&D: is there a Lag? / B. H. Hall, Z. Griliches, J. A. Hausman // *International Economic Review*. 1986. Vol. 27, No 2. P. 265–284.
31. Griliches, Z. Issues in Assessing the Contribution of Research and Development to Productivity Growth / Z. Griliches // *The Bell Journal of Economics*. 1979. Vol. 10, No 1. P. 92–116.
32. Guellec, D. From R&D to Productivity Growth: do the Institutional Settings and the Source of Funds of R&D Matter? / D. Guellec, D. Van Pottelsberghe de la Potterie // *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*. 2004. Vol. 66, No 30. P. 353–378.

Поступила 06.07.2016

Подписана в печать 09.09.2016

Опубликована онлайн 29.11.2016

Добавленная стоимость как критерий эффективности производственного процесса в промышленности

Канд. экон. наук, доц. Л. М. Короткевич¹⁾, асп. А. А. Барсуков¹⁾

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

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

Реферат. Анализ литературы показал, что большинство авторов при построении оптимизационной модели производственного процесса используют классические критерии эффективности: максимизацию прибыли; минимизацию затрат; максимизацию выпуска товарной продукции; минимизацию неудовлетворения спроса на продукцию; минимизацию суммарных затрат времени, связанных с переналадкой производства. Предложено в качестве критерия эффективности выбрать показатель добавленной стоимости как наиболее полно сочетающий в себе экономические и социальные интересы всех основных заинтересованных субъектов экономической деятельности: государства, собственников, работников, инвесторов. Рассмотрены виды добавленной стоимости: акционерная, рыночная, денежная, экономическая, номинальная (валовая), чистая, «реальная». В качестве критерия эффективности предлагается использовать показатель «реальная добавленная стоимость», который позволяет привести номинальную добавленную стоимость в сопоставимый вид, так как добавленная стоимость может вырасти за счет не только повышения эффективности деятельности предприятия, но и факторов внешней среды – превышения темпов роста цен на экспорт над темпами роста импорта. Проведен анализ методов расчета реальной добавленной стоимости по странам (экстраполяция, простое и двойное дефлирование), на основе которого выбран метод двойного дефлирования, рассчитываемый с помощью индексов Ласпейреса, Пааше, Фишера. Сделан вывод, что используемые выражения не в полной мере учитывают экономические особенности Республики Беларусь: не подходят, когда цена продукции дифференцирована по рынкам сбыта, не учитываются разницы курсов нескольких валют, что отражается на экспортных ценах готового продукта и импортных ценах на сырье, материалы и комплектующие. С этих позиций уточнены выражения для расчета реальной добавленной стоимости.

Ключевые слова: реальная добавленная стоимость, оптимизационная модель, критерий оптимизации (эффективности), поправочный коэффициент

Для цитирования: Короткевич, Л. М. Добавленная стоимость как критерий эффективности производственного процесса в промышленности / Л. М. Короткевич, А. А. Барсуков // *Наука и техника*. 2016. Т. 15, № 6. С. 536–545

Added Value as Efficiency Criterion for Industrial Production Process

L. M. Korotkevich¹⁾, A. A. Barsukov¹⁾

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

Abstract. Literary analysis has shown that the majority of researchers are using classical efficiency criteria for construction of an optimization model for production process: profit maximization; cost minimization; maximization of commercial product output; minimization of back-log for product demand; minimization of total time consumption due to production change. The paper proposes to use an index of added value as an efficiency criterion because it combines economic and social interests of all main interested subjects of the business activity: national government, property owners, employees, investors. The following types of added value have been considered in the paper: joint-stock, market, monetary, economic, notional (gross), net, real. The paper makes suggestion to use an index of real value added as an efficiency criterion. Such approach permits to bring notional added value in comparable variant because added value can be increased not only due to efficiency improvement of enterprise activity but also due to environmental factors – excess in rate of export price increases over rate of import growth. An analysis of methods for calculation of real value added has been made on a country-by-country basis (extrapolation, simple and double deflation). A method of double deflation has been selected on the basis of the executed analysis and it is counted according to the Laspeyres, Paasche, Fischer indices. A conclusion has been made that the used expressions

Адрес для переписки

Короткевич Лариса Михайловна
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 65,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 293-92-12
econ@bntu.by

Address for correspondence

Korotkevich Larisa M.
Belarusian National Technical University
65 Nezavisimosty Ave.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 293-92-12
econ@bntu.by

do not take into account fully economic peculiarities of the Republic of Belarus: they are considered as inappropriate in the case when product cost is differentiated according to marketing outlets; they do not take account of difference in rate of several currencies and such approach is reflected in export price of a released product and import price for raw material, supplies and component parts. Taking this into consideration expressions for calculation of real value added have been specified in the paper.

Keywords: real value added, optimization model, optimization (efficiency) criterion, coefficient of correction

For citation: Korotkevich L. M., Barsukov A. A. (2016). Added Value as Efficiency Criterion for Industrial Production Process. *Science & Technique*. 15 (6), 536–545 (in Russian)

Введение

В современных условиях работы для большинства предприятий Республики Беларусь не только актуальной, но и жизненно важной задачей является всесторонняя оптимизация производственного процесса. Это позволит повысить качество и конкурентоспособность выпускаемой продукции, увеличить спрос на мировом рынке. Однако для этого в производственный сектор необходимо привлекать инвестиции на приобретение и освоение новых или модернизацию существующих технологий производства с внедрением современных программных продуктов в компьютеризированные процессы. Таким образом, основная задача – получение продукции более высоких потребительских свойств при одновременном снижении затрат материалов, комплектующих, времени, сокращении общей длительности производственного цикла и т. д. Но в этом случае необходимо выбрать критерий оценки выполненной работы, значение которого в понятной форме могло бы показывать эффективность производственного процесса всем заинтересованным субъектам экономической деятельности, в котором все участники видели бы отражение своих интересов. Такой критерий может быть положен в основу создания оптимизационной модели производственного процесса, на основе которой можно объективно оценивать и раскрывать основные направления повышения эффективности производственной деятельности.

Показатели эффективности производственного процесса

На основе анализа и обобщения исследований, опубликованных в отечественных и зарубежных литературных источниках, в том числе материалов диссертационных исследований, можно сделать вывод, что выделяются три основных критерия эффективности для построения оптимизационных моделей производственного процесса, представленных в табл. 1 [1–20].

На сегодняшний момент использование классических критериев оптимальности не всегда может в полной мере соответствовать положению дел на предприятиях, так как:

- предприятия продают многие номенклатурные позиции себе в убыток, чтобы не потерять рынки сбыта в условиях ужесточающейся конкурентной борьбы и снижения покупательской способности вследствие экономического кризиса. Получение высокой прибыли может быть связано с высоким риском деятельности, что не дает стабильности предприятию и уверенности в завтрашнем дне;

- значительное количество нереализованной продукции находится на складах у большинства предприятий, дальнейшее увеличение выпуска при такой ситуации ведет к росту затора на складах;

- имеются разногласия у авторов относительно того, что принять за критерий оптимальности: минимум отдельных видов затрат по стадиям производственного цикла, минимум суммарных затрат по всем стадиям или другое.

Таблица 1

Систематизация критериев эффективности производственного процесса на основе материалов [1–20]
Systematization of efficiency criteria for industrial process on the basis of materials [1–20]

Критерий эффективности	Суть
1. Максимизация прибыли	Предлагается классическая оптимизационная модель производственного процесса, в которой критерием оптимальности является максимум прибыли $\sum_{i=1}^n b_i x_i \rightarrow \max,$ где x_i – количество i -го вида продукции; n – число номенклатурных позиций; b_i – прибыль от реализации i -й номенклатурной позиции
2. Минимизация затрат	В рамках классической концепции в качестве критерия оптимальности авторы выбирают минимум затрат, однако каждый автор выделяет только те затраты, которые, по его мнению, нужно минимизировать

Критерий эффективности	Суть
В докторской диссертации Г. И. Чекмарева [1] в качестве критерия оптимальности выделяется минимум производственно-транспортно-складских расходов в логистической системе, зависящих от размера партии запуска деталей в производство:	$\Pi = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \sum_{l=1}^L C_i t_{\text{шт}ij} N + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \sum_{l=1}^L C_{\text{п}} K_{ij} + E_n (C_{\text{нп}} + C_{\text{сн}}) + C_{\text{тп}} \rightarrow \min,$ где C_i – средняя часовая тарифная ставка рабочих, занятых на производстве i-й детали, руб.; $t_{\text{шт}ij}$ – штучное время на обработку i-й детали на j-м станке (здесь и далее под станком понимается любое технологическое оборудование, на котором производится обработка детали), ч; N – годовая программа изделий, шт.; J – количество станков (групп станков) в цехе, по которому ведется расчет деталей, т. е. охватывающих всю номенклатуру деталей, обрабатываемых в цехе; I_j – то же деталей, обрабатываемых на j-м станке (группе однотипных станков); L_j – то же станков (деталей-операций), проходимых деталью в процессе обработки в цехе; $C_{\text{п}}$ – затраты, связанные с переналадкой j-го станка для обработки i-й детали, руб.; K_{ij} – количество запусков i-й детали в производство; E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений; $C_{\text{нп}}$ – стоимость объема незавершенного производства, руб.; $C_{\text{сн}}$ – то же площади для складирования деталей и заготовок, руб.; $C_{\text{тп}}$ – затраты на транспортировку заготовок и деталей, руб.
Е. М. Живова [2] минимизирует сумму транспортно-заготовительных расходов и издержек по содержанию оборотных средств в запасах отдельных товарных групп потребляемых предприятием материальных ресурсов. Показателями оптимизационной модели явились величина оборотных средств в производственных запасах, транспортно-заготовительные расходы, издержки по содержанию запасов, складские площади, рабочее время	
Б. Ф. Забелин [3] минимизирует суммарные затраты за все периоды, что в целом соответствует сформировавшимся классическим подходам:	$\sum_{j=1}^n \left[\sum_{i=1}^m (q_{ij} u_{ij} + c_{ij} w_{ij}) + r_j y_j \right] \rightarrow \min,$ где m – номенклатура продукции; n – число плановых периодов; q_{ij} – затраты на производство i-й продукции в j-м периоде; u_{ij} – объем производства i-й продукции в j-м периоде; w_{ij} – то же запаса i-й продукции на конец j-го периода; y_j – то же заимствованных (привлеченных) денежных средств (кредит) на начало j-го периода; c_{ij}, r_j – соответственно затраты на хранение готовой продукции и использование кредита. Ограничения: $u_{ij} + w_{ij-1} - w_{ij} = V_{ij}$ $\sum_{i=1}^m t_{ij} u_{ij} \leq T_j; \sum_{i=1}^m a_{ik} u_{ij} \leq b_{kj}; \sum_{i=1}^m q_{ik} u_{ij} = Q_j + x_{j-1} - x_j + y_j - z_{jk}; \quad z_{jk} = \sum_{j=1}^k l_{jk} y_{jk},$ где w_{ij-1} – объем запаса i-й продукции на начало j-го периода; V_{ij} – заданный уровень спроса на i-ю продукцию в j-м плановом периоде; t_{ij} – трудоемкость изготовления i-й продукции в j-м плановом периоде; T_j – общий фонд рабочего времени в j-м плановом периоде; a_{ik} – затраты времени на изготовление i-й продукции на k-й группе оборудования; b_{kj} – фонд рабочего времени k-й группы в j-м плановом периоде; Q_j – собственные финансовые средства в j-м плановом периоде; x_{j-1} – объем неиспользованных денежных средств на начало j-го периода; x_j – то же неиспользованных денежных средств на конец j-го периода; z_{jk} – то же возвращаемых денежных средств в k-й период; l_{jk} – кредитная ставка; y_{jk} – объем заимствованных (привлеченных) денежных средств (кредит) на начало j-го периода с возвратом на конец k-го периода
3. Максимизация выпуска товарной продукции (в натуральном и стоимостном выражении)	Предлагается в классической форме оптимизационная модель производственного процесса с критерием оптимальности в виде максимума выпуска товарной продукции $V = \sum_{i=1}^n P_i Q_i \rightarrow \max,$ где V – выпуск товарной продукции; P_i – цена i-й номенклатурной позиции; Q_i – количество единиц продукции i-го вида
4. Иное	Б. Ф. Забелин [3] в качестве критерия эффективности функционирования производства и в зависимости от производственной ситуации предлагает ввести: • минимизацию неудовлетворения спроса на продукцию $\alpha = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m u_{ij} - V_{\text{спрос}} \rightarrow \min,$ где $V_{\text{спрос}}$ – объем ожидаемого спроса; • минимизацию суммарных затрат времени, связанных с переналадкой производства $\beta(\Delta) = \sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m c_{ijk} \delta_{ij} \rightarrow \min,$ где c_{ijk} – временные затраты на переналадку k-го типа ЦГПС для изготовления i-го вида изделия в j-м плановом периоде; δ_{ij} – булева переменная, определяющая запуск в производство i-го вида изделия в j-м плановом периоде ($\delta_{ij} = 1$ – i-е изделие включается в производственную программу на j-й плановый период; $\delta_{ij} = 0$ – i-е изделие не изготавливается в j-м плановом периоде)

Также анализ упомянутых работ показывает, что авторы, рассматривая пути повышения эффективности производства продукции, не затрагивают сам производственный процесс, ограничиваясь методическими рекомендациями в области снабжения, формирования запасов материалов на складах, сбытом готовой продукции, маркетингом, не составляя экономико-математические модели самого производственного процесса. Это, по мнению авторов статьи, является одним из существенных недостатков предложенных подходов, и устранение данного недостатка открывает большие резервы для повышения эффективности производственного процесса.

С учетом сказанного необходимо использование нового критерия для оценки эффективности производственного процесса, который будет соответствовать требованиям к критериям

оптимальности создания оптимизационной модели производственного процесса и одновременно будет лишен недостатков, свойственных рассмотренным выше критериям. В соответствии с этим предлагается в качестве основного критерия оценки эффективности при управлении производственными процессами на промышленных предприятиях выбрать максимизацию добавленной стоимости.

Выбор добавленной стоимости как основного критерия оценки эффективности работы организации в отличие от общепринятых позволяет согласовать интересы всех участников экономической модели, и в первую очередь государства, поскольку учитывает требования законодательства по обеспечению социальных и экологических гарантий перед обществом, что отражено на рис. 1 [21, 22].

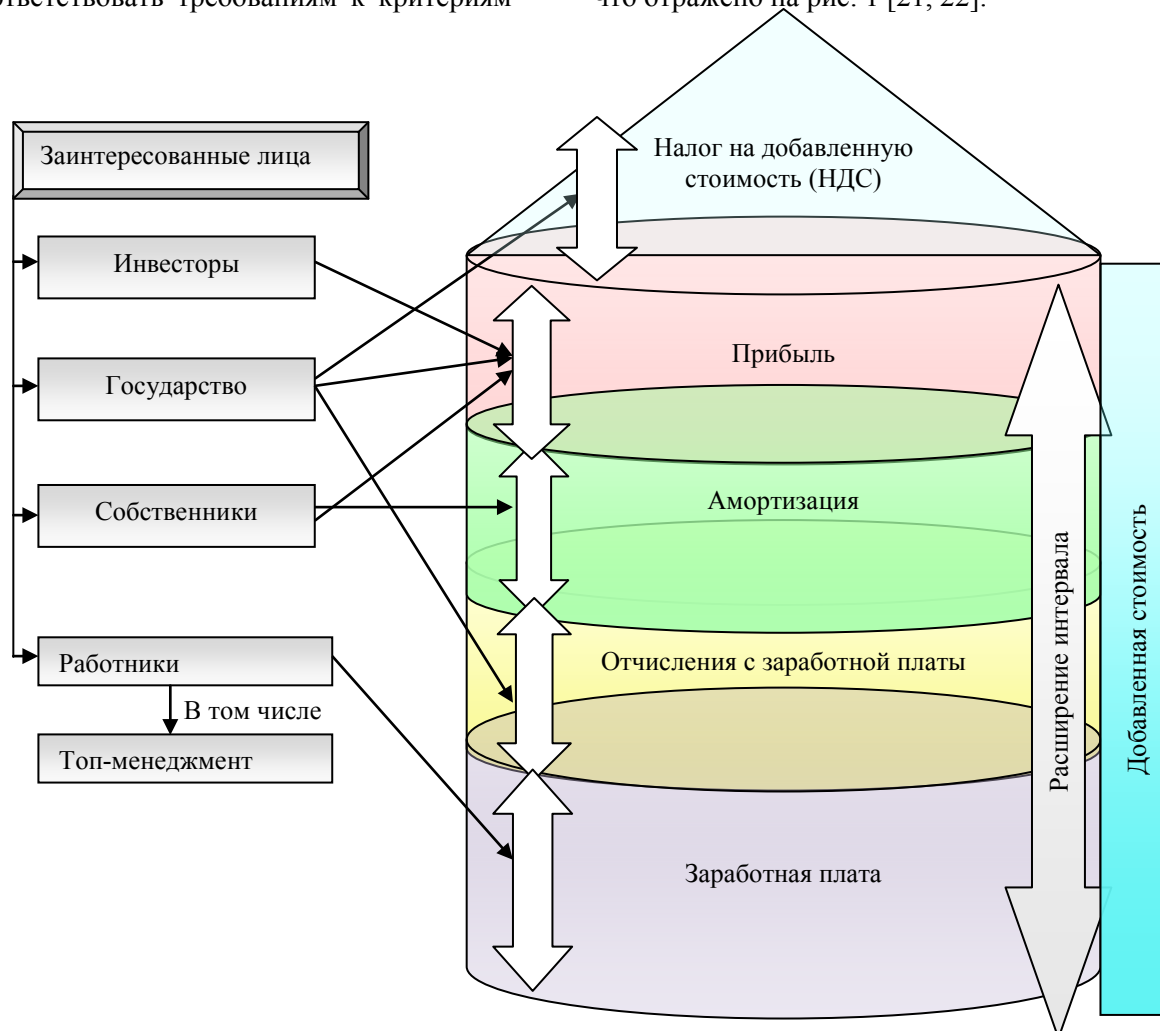


Рис. 1. Структура добавленной стоимости и распределение ее элементов по заинтересованным субъектам экономической деятельности

Fig. 1. Structure of added value and distribution of its elements among subjects of economic activity

В максимизации добавленной стоимости заинтересованы все участники экономической модели производства товаров (работ, услуг) [23]:

- работники – в заработной плате;
- государство – в налоговых поступлениях в бюджет;
- собственники – в развитии бизнеса и максимизации дивидендов;
- инвесторы – в максимизации доходов на вложенный капитал.

Добавленная стоимость

Исследование литературных источников указывает на необходимость рассмотрения и учета различных видов добавленной стоимости, которые подразделяются на следующие варианты.

1. Акционерная добавленная стоимость (SVA). Показатель SVA был предложен Альфредом Раппапортом в 1986 г. и рассчитывается как сумма приведенной стоимости (PV) чистого денежного потока (NCF) и разницы между приведенными стоимостями (PV) остаточных ценностей, определенных на конец и начало прогнозного года [24, 25]

$$SVA = PV(NCF_n) + (PV(TV_n) - PV(TV_{n-1})).$$

Чистый денежный поток рассчитывается как разница между чистой операционной прибылью после налогов (NOPAT) и величиной приростных инвестиций (ΔI) во внеоборотные активы и рабочий капитал. Величина приростных инвестиций – это произведение прироста чистой операционной прибыли после налогов за период на норму приростных инвестиций во внеоборотные активы и рабочий капитал (доля от NOPAT).

Остаточная стоимость рассчитывается как NOPAT, деленная на средневзвешенную стоимость капитала (WACC).

Показатель SVA представляет собой капитализированное изменение текущей стоимости операционного денежного потока, скорректированное на текущую стоимость инвестиций во внеоборотный и оборотный капитал, вызвавших данное изменение [26].

Показатель SVA, так же как и EVA, в рамках управления стоимостью компании используется:

1) для оценки стоимости компании, т. е. выступает как величина, на базе которой после осуществления расчетов, исходя из алгоритма

оценки, фиксируется итоговый вывод о стоимости компании на определенную дату;

2) для получения информации о степени эффективности осуществленных инвестиций, т. е. как показатель, позволяющий сделать вывод о степени эффективности осуществленных инвестиций и выявить, была ли создана новая добавленная стоимость или, наоборот, в результате нерационального инвестиционного решения произошло «разрушение» существующей стоимости.

2. Рыночная добавленная стоимость (MVA, Market Value Added) [25] рассчитывается как разница между рыночной капитализацией и балансовой стоимостью собственного капитала или как разница между стоимостью предприятия (рыночная капитализация + чистый долг) и инвестированным капиталом (балансовое значение собственного капитала + балансовое значение заемного капитала).

Рыночная балансовая стоимость может быть рассчитана с использованием показателя прибыли (RI) и экономической добавленной стоимости (EVA):

$$MVA = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{RI_i}{(1 + R_B)^i}$$

или

$$MVA = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{EVA_i}{(1 + WACC_B)^i}.$$

3. Денежная добавленная стоимость (CVA). Показатель предложен консалтинговой компанией Boston Consulting Group в 1996 г. [25] и рассчитывается как разница между чистым денежным потоком до процентных расходов (CFBI) и произведением чистых активов по первоначальной стоимости (NA) и средневзвешенной стоимости капитала (WACC)

$$CVA = CFBI_n - NA_0 \cdot WACC.$$

Денежный поток до процентных расходов (CFBI) рассчитывается как чистая операционная прибыль после налогов (NOPAT) плюс амортизация (DA) и минус экономическая амортизация (ED)

$$CBI = NOPAT + DA - ED.$$

Экономическая амортизация определяется по следующей формуле:

$$ED = \frac{GFA \cdot WACC}{(1 + WACC)^n - 1},$$

где GFA (Gross Fixed Assets) – внеоборотные активы в оценке по первоначальной стоимости; n – срок полезного использования внеоборотных активов.

4. Экономическая добавленная стоимость (EVA) является одним из финансовых показателей, который отражает созданную в течение определенного периода стоимость, сверх требуемой нормы доходности инвесторов, предоставивших капитал – как собственный, так и заемный [27]. Если значение этого показателя является положительным, это означает, что менеджеры увеличили стоимость компании. Данный показатель определяется как прибыль предприятия от деятельности за вычетом налогов и уменьшенная на инвестирование в капитал (за счет собственных и заемных средств).

Необходимо сказать, что анализ рассмотренных выше видов добавленной стоимости (акционерная, рыночная, денежная, экономическая) характеризует в большей степени финансовую сферу, и их использование не целесообразно при выборе критериев оценки эффективности производственного процесса.

5. Номинальная (валовая) добавленная стоимость позволяет согласовать интересы всех участников (рис. 1). Добавленная стоимость по организации исчисляется по всем осуществляемым видам экономической деятельности как объем производства продукции (работ, услуг) в отпускных ценах за вычетом начисленных налогов и сборов из выручки минус материальные (без учета платы за природные ресурсы) и прочие затраты, состоящие из арендной платы, представительских расходов и услуг других организаций. В нашей стране методика расчета отражена в постановлении Министерства экономики Республики Беларусь, Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь от 31.05.2012 № 48/71 [23].

Подтверждением актуальности расчета добавленной стоимости является ее использование в рамках построения системы национальных счетов (СНС), основанной на методологии, принятой в качестве международного стандарта ООН, МВФ, Всемирным банком, ОЭСР и Евростатом в 1993 г. (СНС-93) [28]. Система национальных счетов 1993 г. (СНС-93) принята большинством государств мира, в том числе

в Республике Беларусь и в Российской Федерации. Национальный статистический комитет Беларуси с 1 января 2016 г. ввел международный стандарт СНС-2008 [29, 30].

6. Чистая стоимость. Чистая добавленная стоимость – это валовая добавленная стоимость за вычетом стоимости потребления капитала (амортизации).

7. Реальная стоимость. Однако с целью анализа необходимо рассматриваемую добавленную стоимость (номинальную) привести в сопоставимый вид. Это обусловлено тем, что добавленная стоимость может вырасти за счет не только повышения эффективности деятельности предприятия, но и факторов внешней среды – превышение темпов роста цен на экспорт над темпами роста импорта. Авторами данной статьи предлагается в качестве критерия эффективности производственного процесса использовать именно реальную добавленную стоимость, под которой в приведенных расчетах и в последующем будем понимать (согласно определению Дугласа Мида [31]) номинальную (валовую) добавленную стоимость, приведенную в сопоставимый вид.

Существуют три основных метода расчета реальной добавленной стоимости [31]:

- экстраполяция добавленной стоимости, начиная с базисного года, индикаторами, которые отражают рост реального выпуска;
- простое дефлирование отраслевого показателя добавленной стоимости отраслевым дефлятором выпуска;
- двойное дефлирование – метод, рекомендованный СНС, ООН и Евростатом, идея которого состоит в том, чтобы вычитать дефлированные затраты из дефлированного выпуска.

В разных странах придерживаются различных подходов к расчету реальной добавленной стоимости, что отражено в табл. 2.

Для расчета реальной добавленной стоимости с помощью метода двойного дефлирования используются индексы Ласпейреса, Пааше, Фишера [31]. Количественный индекс Ласпейреса для вычисления реальной добавленной стоимости определяется по формуле [31]

$$V_{A,B}^L = \frac{p_A^q q_B - \sum_{i=0}^n p_{i,A}^m m_{i,B}}{p_A^q q_A - \sum_{i=0}^n p_{i,A}^m m_{i,A}},$$

где $V_{A,B}^L$ – количественный индекс Ласпейреса между периодами A и B; p_A^q – цена на продук-

цию в период A ; q_A , q_B – объем выпуска в постоянных ценах в периоды A и B ; $p_{i,A}^m$ – индекс цен на промежуточные затраты i в период A ; $m_{i,A}$, $m_{i,B}$ – объем промежуточных затрат i в постоянных ценах в периоды A и B .

Количественный индекс Пааше для вычисления реальной добавленной стоимости определяется по формуле [31]

$$V_{A,B}^P = \frac{p_B^q q_B - \sum_{i=0}^n p_{i,B}^m m_{i,B}}{p_B^q q_A - \sum_{i=0}^n p_{i,B}^m m_{i,A}},$$

где p_B^q – цена на продукцию в период B ; $p_{i,B}^m$ – индекс цен на промежуточные затраты i в период B .

Индекс Фишера

$$V_{A,B}^F = \sqrt{V_{A,B}^P V_{A,B}^L}.$$

Таблица 2

Специфика расчета реальной добавленной стоимости по странам [31]

Specificity in country-wise calculation of real value added [31]

Страна	Специфика расчета реальной добавленной стоимости
США	Не для всех отраслей используется метод двойного дефлирования. Для одних выбирается экстраполяция добавленной стоимости в постоянных ценах, для других – метод простого дефлирования. При применении метода двойного дефлирования используется индекс Фишера
Великобритания	Метод двойного дефлирования не используется, а промежуточное потребление дефлировалось таким образом, чтобы оно в постоянных ценах соответствовало определенной доле реального выпуска. Это предполагает, что реальная добавленная стоимость будет расти тем же темпом, что и выпуск
Канада	Для производственных отраслей внутренний продукт в постоянных ценах вычислялся непрямыми методами двойного дефлирования

К недостаткам расчета реальной добавленной стоимости с помощью индексов Ласпейреса, Пааше и Фишера можно отнести то, что приведенные выражения корректны для одного рынка сбыта, так как не учитывают тот факт, что на разных рынках цены на одну и ту же продукцию отличаются. Таким образом, необходимо отразить доли рынков сбыта в объеме

отгруженной продукции и цены данного вида продукции для каждого из них. Также не учитываются разницы курсов нескольких валют, поскольку для белорусских предприятий характерна ситуация, когда основной рынок сбыта продукции (более 50 %) – Россия. С одной стороны, выгоден высокий курс российского рубля, так как увеличивается покупательская способность основных клиентов. С другой стороны, некоторые запчасти и комплектующие покупаются за евро и доллары и выгоден более низкий курс этих валют. В этом случае выражение для определения темпа роста реальной добавленной стоимости с учетом внесенных изменений, по мнению авторов данной статьи, должно выглядеть следующим образом:

$$TR(ДС_B^P) = \frac{\sum_{j=0}^k \sum_{i=0}^n p_{Bij}^q q_{Bij} - \sum_{l=0}^L p_{l,B}^m m_{l,B}}{\sum_{j=0}^k \sum_{i=0}^n p_{Aij}^q q_{Aij} - \sum_{l=0}^L p_{l,A}^m m_{l,A}} \times K_{\frac{ЭКС}{ИМП}} \left(\frac{TR_{ЭКС}}{TR_{ИМП}} \right),$$

где $TR(ДС_B^P)$ – темп роста показателя реальной добавленной стоимости; k – количество сегментов; n – номенклатура продукции; L – промежуточные затраты; p_{Aij}^q , p_{Bij}^q – цена на продукцию i -го вида на j -м рынке (сегменте, постоянном крупном клиенте); q_{Aij} , q_{Bij} – объем выпуска i -го вида продукции для j -го сегмента; $p_{l,A}^m$, $p_{l,B}^m$ – индекс цен на промежуточные затраты l в периоды A и B ; $m_{l,A}$, $m_{l,B}$ – объем промежуточных затрат l в постоянных ценах в периоды A и B ; $\frac{TR_{ЭКС}}{TR_{ИМП}}$ – коэффициент, отражающий превышение темпов роста цен на экспорт над темпами роста импорта.

$$\begin{aligned} \text{Если } \frac{TR_{ЭКС}}{TR_{ИМП}} > 1, \text{ то } K_{\frac{ЭКС}{ИМП}} &= 1 - \left(\frac{TR_{ЭКС}}{TR_{ИМП}} - 1 \right), \\ \text{если } \frac{TR_{ЭКС}}{TR_{ИМП}} < 1, \text{ то } K_{\frac{ЭКС}{ИМП}} &= 1 + \left(1 - \frac{TR_{ЭКС}}{TR_{ИМП}} \right). \end{aligned}$$

ВЫВОДЫ

1. Проведен анализ отечественных и зарубежных литературных источников на предмет выбора для построения оптимизационной модели критерия эффективности производственного процесса. Большинство авторов рассматривают пути совершенствования производства продукции, не раскрывая в полной мере производственный процесс и не составляя экономико-математические модели производственного процесса, что свидетельствует о возможности в перспективе более глубокого и детального анализа производственного процесса для повышения экономической эффективности. В качестве критериев эффективности в основном используются не отражающие реальные условия белорусских машиностроительных предприятий показатели: максимизация прибыли, минимизация затрат, максимизация выпуска товарной продукции. Предлагается в качестве критерия оценки эффективности производственного процесса использовать показатель добавленной стоимости.

2. Систематизированы виды понятия добавленной стоимости. Использование таких категорий добавленной стоимости, как акционерная, рыночная, денежная и экономическая, характеризует в большей степени финансовую сферу. Их применение не целесообразно при выборе критериев оценки эффективности производственного процесса. В данной области предпочтительным показателем будет номинальная (валовая) добавленная стоимость. В качестве критерия эффективности предлагается использовать показатель «реальная добавленная стоимость», который позволяет привести номинальную в сопоставимый вид.

3. Для расчета реальной добавленной стоимости предложено использовать метод на основе расчета индексов Ласпейреса, Пааше и Фишера, который скорректирован с учетом особенностей белорусских машиностроительных предприятий. Кроме того, предлагается выражение для его расчета, позволяющее учесть факт различной цены на одну и ту же продукцию для разных рынков сбыта, превышение темпов роста цен на экспорт над темпами роста импорта.

4. Исследование экономической сущности и значения добавленной стоимости как критерия

эффективности производственного процесса промышленного производства позволяет развивать теорию и практику построения оптимизационных математических моделей производства, учитывающих особенности производственного процесса и способствующих повышению эффективности производственной логистики и прибыли предприятия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чекмарева, Г. И. Теория и методология реализации принципов логистики и управления цепями поставок в стратегии развития предприятий машиностроительной отрасли / Г. И. Чекмарева. Р-н-Д.: Изд-во РГЭУ «РИНХ», 2006. 52 с.
2. Живова, Е. М. Управление бизнес-процессами коммерческой деятельности машиностроительных предприятий на логистических принципах / Е. М. Живова; Самарский гос. экон. ун-т. Самара, 2007. 23 с.
3. Забелин, Б. Ф. Методы оперативно-производственного планирования на предприятиях машиностроения в современных условиях / Б. Ф. Забелин; Санкт-Петерб. гос. инж.-экон. ун-т. СПб., 2010. 18 с.
4. Царенкова, И. М. Экономические основы развития логистических систем в дорожном хозяйстве / И. М. Царенкова; Акад. упр. при Президенте Респ. Беларусь. Минск, 2008. 26 с.
5. Алимова, М. С. Поэлементная оценка добавленной стоимости на основе принципов формирования единого учетного пространства / М. С. Алимова; Гос. ун-т – учеб.-науч.-производ. комплекс. Орел, 2014. 24 с.
6. Кухто, Ю. Ю. Бухгалтерский анализ и учет движения капитала в микроэкономической системе финансового менеджмента / Ю. Ю. Кухто; Белор. гос. экон. ун-т. Минск, 2013. 24 с.
7. Павлова, Н. И. Современные методы управления и оценки инновационной активности хозяйственных систем различного уровня / Н. И. Павлова; Гос. ун-т – учеб.-науч.-производ. комплекс. Орел, 2015. 24 с.
8. Ротэрмель А. А. Институционально-рыночная трансформация цепей создания стоимости в экономике России / А. А. Ротэрмель; Ростов. гос. экон. ун-т. Р-н-Д., 2015. 27 с.
9. Иванова, О. В. Развитие методического обеспечения реализации концепции справедливой стоимости в системе учета и анализа организации / О. В. Иванова; Ростов. гос. экон. ун-т. Р-н-Д., 2014. 25 с.
10. Божьев, В. А. Управление материальными потоками промышленных предприятий на основе логистического подхода / В. А. Божьев; Саратов. гос. соц.-экон. ун-т. Саратов, 2003. 18 с.
11. Ганин, А. С. Логистический подход к комплексному управлению формированием и движением материальных потоков и производственных запасов / А. С. Ганин; Санкт-Петерб. гос. инж.-экон. ун-т. СПб., 2004. 17 с.
12. Егоров, Д. А. Стратегическое развитие производственной системы машиностроительного предприятия / Д. А. Егоров; Саратов. гос. соц.-экон. ун-т. Саратов, 2010. 19 с.

13. Нагорная, С. В. Совершенствование механизма управления производственным процессом машиностроительного предприятия / С. В. Нагорная; Моск. гуманитар. ун-т. М., 2012. 22 с.
14. Ананкина, Ю. А. Управление процессами проектирования и функционирования логистической системы предприятия транспортного / Ю. А. Ананкина; Саратов. гос. техн. ун-т. Саратов, 2013. 23 с.
15. Козлова, Е. И. Стратегические аспекты управления конкурентоспособностью предприятия: логистический подход / Е. И. Козлова; Рост. гос. строит. ун-т. Р-н-Д., 2009. 23 с.
16. Сырадов, Д. В. Управление развитием машиностроительного комплекса / Д. В. Сырадов; Ин-т экономики Уральского отделения РАН (Удмуртский ф-л). Ижевск, 2011. 19 с.
17. Зенченко, И. В. Процессный подход к управлению заказами на предприятиях машиностроения / И. В. Зенченко; Оренбург. гос. ун-т. Оренбург, 2011. 22 с.
18. Бреднева, О. Е. Логистизация закупочной деятельности на машиностроительных предприятиях / О. Е. Бреднева; Самарский гос. экон. ун-т. Самара, 2005. 18 с.
19. Рыбачек, Н. В. Функционально-стоимостный анализ бизнес-процессов машиностроительных предприятий / Н. В. Рыбачек; Сибирский госуд. аэрокосмич. ун-т имени акад. М. Ф. Решетнева. Красноярск, 2009. 22 с.
20. Ластовка, И. В. Стратегическое управление предприятиями машиностроения на основе процессного подхода / И. В. Ластовка; Санкт-Петерб. гос. ун-т экономики и финансов. СПб., 2007. 14 с.
21. Бабынина, Г. М. Добавленная стоимость – ключевой фактор финансового здоровья предприятия / Г. М. Бабынина // Экономика и управление. 2014. Т. 39, № 3. С. 42–45.
22. Рахматуллина, З. С. Эволюция категории «добавленная стоимость» в экономической литературе / З. С. Рахматуллина // Вестник Челябинского государственного университета. Экономика. 2011. Т. 246, № 31. Вып. 33. С. 36–39.
23. Об утверждении Методических рекомендаций по расчету добавленной стоимости и добавленной стоимости на одного среднесписочного работника (производительности труда по добавленной стоимости) на уровне организации [Электронный ресурс]: постановление Министерства экономики Республики Беларусь, Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь, 31.05.2012 № 48/71 / Навигатор в мире права etalonline. Режим доступа: http://www.etalonline.by/?type=text®num=U212e0012#load_text_none_5_1. Дата доступа: 22.09.2016.
24. Rappaport, A. Creating Shareholder Value: a Guide for Managers and Investors. – Rev. and Updated ed. New York: Free Press, 1998. 205 p.
25. Вашакмадзе, Т. Концепция управления стоимостью компании. Библиотека управления [Электронный ресурс] / Т. Вашакмадзе // Портал «Корпоративный менеджмент». 2013. Режим доступа: <http://www.cfin.ru/management/finance/valman/valuing.shtml>. Дата доступа: 22.09.2016.
26. Щербакова, О. Н. Методы оценки и управления стоимостью компании, основанные на концепции добавленной стоимости [Электронный ресурс] / О. Н. Щербакова // Финансовый менеджмент. 2003. № 6. Режим доступа: <http://www.finman.ru/articles/2003/6/711.html>. Дата доступа: 22.09.2016.
27. Экономическая добавленная стоимость. Economic Value Added, EVA [Электронный ресурс] // Финансовые инвестиции – образовательный центр. Инвестиционный портал об инвестициях и инвестиционных инструментах. Режим доступа: <http://allfi.biz/financialmanagement/FinancialStatement/jekonomicheskaja-dobavlenaja-stoimost.php>. Дата доступа: 22.09.2016.
28. Национальные счета Республики Беларусь 2016 / Национальный статистический комитет Республики Беларусь (Белстат); редкол.: И. В. Медведева [и др.]. Минск: РУП «Информационно-вычислительный центр Национального статистического комитета Республики Беларусь», 2016. 292 с.
29. О внедрении в статистическую практику основных положений Системы национальных счетов-2008 [Электронный ресурс] / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. Минск, 2016. Режим доступа: http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/natsionalnyescheta/operativnaya-informatsiya_5/o-vnedrenii-v-statisticheskuuyu-praktiku-osnovnykh-polozheniy-sistemy-natsionalnykh-schetov-2008/. Дата доступа: 22.09.2016.
30. Проект. Основные положения программы социально-экономического развития Республики Беларусь на 2016–2020 годы [Электронный ресурс] // Право.by. Национальный правовой интернет-портал Республики Беларусь. Режим доступа: <http://www.pravo.by/main.aspx?guid=216643>. Дата доступа: 22.09.2016.
31. Дуглас, М. Показатель реальной добавленной стоимости: проблемы интерпретации и оценивания / М. Дуглас; пер. с англ. А. А. Широга и А. А. Янговского // Проблемы прогнозирования. 2010. № 3. С. 33–54.

Поступила 29.09.2016

Подписана в печать 25.11.2016

Опубликована онлайн 29.11.2016

REFERENCES

1. Chekmariova G. I. (2006) *Theory and Methodology for Realization of Logistics Principles and Supply Chain Management in Strategy for Development of Enterprises in Machine-Building Industry*. Rostov on-Don. 52 (in Russian).
2. Zhivova E. M. (2007) *Business-Process Management for Commercial Activity of machine-Building Enterprises According to Logistics Principles*. Samara. 23 (in Russian).
3. Zabelin B. F. (2010) *Methods for Calendar Production Planning at Machine-Building Enterprises under Modern Conditions*. Saint-Petersburg. 18 (in Russian).
4. Tsarenkova I. M. (2008) *Economic Fundamentals for Development of Logistics Systems in Road Facilities*. Minsk. 26 (in Russian).
5. Alimova M. S. (2014) *Element-by-Element Evaluation of Added Value on the Basis of Principles for Formation of Common Accounting Area*. State University – Educational, Scientific and Production Complex, Orel. 24 (in Russian).

6. Kukhto Yu. Yu. (2013) *Accounting Analysis and Book-keeping of Capital Movement in Micro-Economic System of Finance Management*. Belarus State Economic University, Minsk. 24 (in Russian).
7. Pavlova N. I. (2015) *Modern Methods for Management and Evaluation of Innovation Activity of Economic Systems of Various Levels*. State University – Educational, Scientific and Production Complex, Orel. 24 (in Russian).
8. Rothermel A. A. (2015) *Institutional and Market Transformation for Creation of Value chains in Russian Economy*. Rostov on-Don. 27 (in Russian).
9. Ivanova O. V. (2014) *Development of Methodological Support for Realization of Conception on Fair Value in the Accounting and Analysis System of Organization*. Rostov on-Don. 25 (in Russian).
10. Bozhiev V. A. (2003) *Management of Material Flows in Industrial Enterprises on the Basis of Logistics Approach*. Saratov. 18 (in Russian).
11. Ganin A. S. (2004) *Logistics Approach to Complex Management of Formation and Movement of Material Flows and Productive Supplies*. Saint-Petersburg. 17 (in Russian).
12. Egorov D. A. (2010) *Strategic Development of Production System for Machine-Building Enterprise*. Saratov. 19 (in Russian).
13. Nagornaya S. V. (2012) *Development of Management Mechanism for Production Process of Machine-Building Enterprise*. Moscow. 22 (in Russian).
14. Anankina Yu. A. (2013) *Management of Designing and Functioning Processes for Logistics System in Transport Enterprise*. Saratov. 23 (in Russian).
15. Kozlova E. I. (2009) *Strategic Aspects for Management of Enterprise Competitive Capacity: Logistics Approach*. Rostov on-Don. 23 (in Russian).
16. Syradoev D. V. (2011) *Management of Machine-Building Complex Development*. Institute of Economics, Ural Division of Russian Academy of Sciences, Izhevsk. (Udmurt Branch). 19 (in Russian).
17. Zenchenko I. V. (2011) *Process Approach to Account Management at Machine-Building Enterprises*. Orenburg. 22 (in Russian).
18. Bredneva O. E. (2005) *Logistization of Procurement Activities at Machine-Building Enterprises*. Samara. 18 (in Russian).
19. Rybachek N. V. (2009) *Functional-Cost Analysis of Business-Processes at Machine-Building Enterprises*. Siberian State Aerospace University named After Academician M. F. Reshetnev, Krasnoyarsk. 22 (in Russian).
20. Lastovka I. V. (2007) *Strategic Management of Machine-Building Enterprises on the Basis of Process Approach*. Saint-Petersburg. 14 (in Russian).
21. Babynina G. M. (2014) Added Value – Key Factor of Financial Enterprise Well-Being. *Ekonomika i Upravlenie* [Economics and Management], 39 (3), 42–45 (in Russian).
22. Rakhmatullina Z. S. (2011) Evolution of “Added Value” Category in Economic Literature. *Vestnik Tchelyabinskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Ekonomika* [Bulletin of Chelyabinsk State University. Economics], 246 (31), 36–39 (in Russian).
23. On the Approval of Methodical Recommendations on Organization-Wide Calculation of Added Value and Added Value Per One Average Worker (Value-Added Based Labour Productivity): Decree of the Ministry of Economy of the Republic of Belarus, the Ministry of Labour and Social Protection of the Republic of Belarus, 31.05.2012 No 48/71. *Navigators in the World of Law Etalonline*. Available at: http://www.etalonline.by/?type=text®num=U212e0012#load_text_none_5_1. (Accessed 22 September 2016) (in Russian).
24. Rappaport A. (1998) *Creating Shareholder Value: a Guide for Managers and Investors*. Rev. and Updated ed. New York, Free Press. 205.
25. Vashakmadze T. Concept for Management of Company Value. Management Library. Portal “Corporate Management”. Available at: <http://www.cfin.ru/management/finance/valman/valuing.shtml>. (Accessed 22 September 2016) (in Russian).
26. Shcherbakova O. N. (2003) Methods for Evaluation and Management of Company Value Which Are Based on the Concept of Added Value. *Finansovyi Menedzhment* [Financial Management], (6). Available at: <http://www.finman.ru/articles/2003/6/711.html>. (Accessed 22 September 2016) (in Russian).
27. Economic Added Value. Economic Value Added, EVA. *Financial Investments – Educational Center. Investment Portal on Investments and Investment Tools*. Available at: <http://allfi.biz/financialmanagement/FinancialStatement/jekonomicheskaja-dobavlenaja-stoimost.php>. (Accessed 22 September 2016) (in Russian).
28. Medvedeva I. V. (editorial board) [et al.]. *National Accounts of the Republic of Belarus in 2016*. Minsk, Center for Computation and Data of National Statistical Committee of the Republic of Belarus. 292 (in Russian).
29. On Introduction in Statistical Practice of Fundamental Principles of the National Accounts System – 2008. *National Statistical Committee of the Republic of Belarus*. Available at: http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/natsionalnye-scheta/operativnaya-informatsiya_5/o-vnedrenii-v-statisticheskuyu-praktiku-osnovnykh-polozheniy-sistemy-natsionalnykh-schetov-2008/. (Accessed 22 September 2016) (in Russian).
30. Project. Main Provisions of the Social and Economic Development Program of the Republic of Belarus for 2016–2020. *Pravo.by. The National Legal Internet Portal of the Republic of Belarus*. Available at: <http://www.pravo.by/main.aspx?guid=216643>. (Accessed 22 September 2016) (in Russian).
31. Douglas M. (2010) Parameter of Actual Added Value: Problems of Interpretation and Evaluation. *Problemy Prognozirovaniya* [Forecasting Problems], (3), 33–54 (in Russian).

Received: 29.09.2016

Accepted: 25.11.2016

Published online: 29.11.2016

**Перечень статей, опубликованных
в журнале «Наука и техника» в 2016 г.**

ТЕМАТИЧЕСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Авраменко А. Н. Методика расчетной оценки теплонапряженного состояния головки цилиндра дизельного двигателя с воздушным охлаждением.	5
Алексеев Ю. Г., Королёв А. Ю., Нисс В. С., Паршуто А. Э. Электролитно-плазменная обработка внутренних поверхностей трубчатых изделий.	1
Бойков В. П., Бобровник А. И., Дорохович С. А. Улучшение курсовой устойчивости тракторов «Беларус».	3
Василевич Ю. В., Довнар С. С., Карабаниук И. А. Конечный элементный анализ влияния бетонного наполнителя на динамическую жесткость портала тяжелого станка.	3
Гундин А. А., Гундина М. А., Чешкин А. Н. Обработка цифровых изображений при дефектоскопии поверхностей промышленных объектов.	3
Даньков А. М. Как управлять передаточным отношением зубчатой планетарной плавной регулируемой передачи.	3
Дьяченко О. В., Кардаполова М. А., Маркевич Н. Ю. Структурообразование сплавов на железной основе после лазерного легирования.	1
Дьяченко О. В., Кардаполова М. А., Серякова О. В. К определению влияния варьирования режимов лазерной обработки на трибологические характеристики режущего инструмента.	5
Жданович Ч. И., Калинин Н. В. Определение передаточных отношений механической части электромеханической трансмиссии трактора.	1
Зелёный П. В., Щербакова О. К. Математическая модель и методика расчета минимизации радиуса поворота тракторного агрегата со сменным опорно-маневровым устройством.	3
Иванов В. П. Выбор способа восстановления деталей.	1
Ивуть Р. Б., Попов П. В., Мирецкий И. Ю. Проектирование сети автотранспортных парков.	5
Kalinichenko A. S., Devoyno O. G., Meshkova V. V. Development of Wear Resistant Coatings Formed by Plasma Spraying of Alloy Ni-Fe-Cr-Si-B-C System Reinforced with Ceramics Al ₂ O ₃ (Калиниченко А. С., Девойно О. Г., Мешкова В. В. Разработка износостойких покрытий, сформированных плазменным напылением сплава системы Ni-Fe-Cr-Si-B-C, упрочненного керамикой Al ₂ O ₃).	5
Карпиевич Ю. Д., Баханович А. Г., Бондаренко И. И. Бортовой мониторинг технического состояния силовых агрегатов колесных и гусеничных машин.	5
Качанов И. В., Шарий В. Н., Власов В. В. Ресурсосберегающая технология скоростного горячего выдавливания биметаллического стержневого инструмента.	1
Киселев М. Г., Есьман Г. А., Дроздов А. В., Богдан П. С. Влияние геометрических параметров лунки, полученной на металлической поверхности в результате воздействия электрического разряда, на ее режущую способность.	5
Котлобай А. Я., Котлобай А. А., Тамело В. Ф. Гидравлические агрегаты систем приводов ходового оборудования дорожно-строительных машин.	1
Кульбашная Н. И. Энтропийные характеристики в моделях согласования смежных участков дорог.	1
Кухаренко Г. М., Березун В. И. Оценка содержания дисперсных частиц в отработавших газах дизельных двигателей.	5
Лагерева Р. Ю., Капский Д. В. Снижение вероятности образования транспортных заторов на дорогах высших категорий управлением доступом к сети.	1
Ловшенко Ф. Г., Ловшенко Г. Ф. Критерии выбора легирующих компонентов и базовых композиций для производства механически легированных дисперсно-упрочненных материалов на основе металлов.	3

Михайлов В. В., Снитков А. Г., Ляхов С. В. Повышение эксплуатационных показателей автобуса путем интегрированного управления подвеской и трансмиссией	1
Оковитый В. А., Пантелеев Ф. И., Девойно О. Г., Оковитый В. В., Асташинский В. М., Храмцов П. П., Черник М. Ю., Углов В. В., Соболевский С. Б. Формирование и исследование многослойных композиционных плазменных оксидных покрытий на элементах экранной противометеорной защиты	5
Оковитый В. В., Девойно О. Г., Оковитый В. А., Асташинский В. М. Технологические особенности формирования теплозащитных покрытий на основе диоксида циркония	3
Ровин С. Л. Исследование работы ротационных наклоняющихся плавильных печей	1
Синькевич Ю. В. Концептуальная модель коммутационного механизма электрической проводимости парогазовой оболочки в режиме электроимпульсного полирования	5
Степаненко Д. А., Луговой И. В., Луговой В. П. Влияние формы кольцевого концентратора ультразвуковой системы на коэффициент усиления амплитуды колебаний	3
Таяновский Г. А., Калина А. А. К обоснованию колесного шасси комбайна для работы с оборудованием уборки свеклы	5
Чигринова Н. М., Воробьева Е. И., Чигринов В. Е. Как «научить» сплавы магния противостоять эксплуатационным рискам	5
Чигринова Н. М., Ловыгин С. И., Чигринов В. Е. Роль ультразвука в механизмах анодно-катодных взаимодействий при электроискровом легировании	5

СТРОИТЕЛЬСТВО

Богославчик П. М., Круглов Г. Г., Линкевич Н. Н. Оценка надежности и степени риска возникновения аварий на шламохранилищах 4-го РУ ОАО «Беларуськалий»	4
Борухова Л. В., Шибко А. С. Проектирование конструктивных солнцезащитных устройств	2
Дмитриева К. В. Расчет жесткой стенки в упругой весомерной полуплоскости	6
Захаревич А. Э. Влияние суточных колебаний наружной температуры на микроклимат помещения	6
Климков В. Т. Использование фильтров из волокнистых материалов в мелиоративном и гидротехническом строительстве	4
Ковалев Я. Н. Способы упрочнения адгезионных связей между поверхностью отработанных формовочных смесей и органическим вяжущим при получении активированных минеральных порошков	6
Костикова Г. Д., Земляков Г. В. Система оценки проектных решений объектов жилой недвижимости на предынвестиционной стадии с применением технологии нейронных сетей	6
Леонovich С. Н., Свиридов Д. В., Щукин Г. Л., Беланович А. Л., Савенко В. П., Карпушенков С. А. Влияние цитрата натрия на процесс формирования цементного камня в глиноземистом вяжущем	4
Марко О. Ю., Батыновский Э. И. Кинетика твердения бетона с наночастицами углеродной добавкой УКД-1 в варианте беспрогревной технологии	4
Матвиенко А. А. Сравнение расчетных и наблюдаемых сейсмических ускорений в каменно-земляной плотине Днестровской ГЭС-1 при проведении экспериментальных взрывов	2
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»	2
Осипов С. Н., Поздняков Д. А. Некоторые особенности учета морального износа при выборе вариантов строительства, ремонта или реконструкции зданий	6
Передерей В. К. Строительный самодвижущийся пневмопробойник со стопорным механизмом	2
Пшембаев М. К., Гирицкий В. В., Ковалев Я. Н., Яглов В. Н., Будниченко С. С. Пороговая структура дорожного бетона	4
Пшембаев М. К., Ковалев Я. Н., Шевчук Л. И. Напряжения в цементно-бетонном покрытии от термического удара	2
Пшембаев М. К., Ковалев Я. Н., Яглов В. Н. Процессы, протекающие на поверхности бетонных покрытий при их химической защите от зимней скользкости	4
Садин Э. Я. Расчетная оценка анкеровки в бетоне стеклопластиковой арматуры, производимой в Республике Беларусь	4
Фам Нгок Киен. Критерии оптимизации параметров водохозяйственного комплекса в бассейнах малых рек предгорных районов Вьетнама	2

Черноиван В. Н., Леонович С. Н., Черноиван Н. В. Эффективные технологии производства работ по ликвидации неэксплуатируемых производственных объектов	2
Чернякевич О. Ю., Леонович С. Н. Расчет состава бетона железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в условиях класса ХС1, в зависимости от толщины защитного слоя	6
Юсеф Даниаль. Современные курортные гостиницы Сирии: характер архитектуры и возможности для инновационной деятельности	4
Яглов В. Н., Ковалев Я. Н., Романюк В. Н., Таболич А. В., Иванов Е. Н. К вопросу применения материалов на основе дисперсных гидросиликатов кальция при устройстве защитных покрытий местных автомобильных дорог	2

ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ

Гулай А. В., Зайцев В. М. Анализ информационных факторов в проектировании интеллектуальных мехатронных систем	4
Лобатый А. А., Петренко Ю. Н., Аймад Эльзейн, Абуфанас А. С. Математическое моделирование гибридных электротехнических систем	4
Соколов А. В. Регулярный метод синтеза базовых бент-квадратов произвольного порядка	4
Солодуха В. А., Белоус А. И., Чигирь Г. Г. Измерение глубины нарушенного слоя на поверхности кремниевых пластин методом оже-спектроскопии	4

ЭКОНОМИКА ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Zhukovski I. V., Gedranovich A. B. Analysis of Efficiency of Research & Development Activities among Countries with Developed and Developing Economies Including Republic of Belarus while Using Method of Stochastic Frontier Approach	
(Жуковский И. В., Гедранович А. Б. Анализ эффективности научно-исследовательской деятельности в развитых и развивающихся странах, включая Республику Беларусь, с использованием метода стохастического анализа данных)	6
Жуковский И. В., Гедранович А. Б. Межстрановый анализ эффективности инновационной деятельности на основе метода оболочечного анализа данных среди государств с развитой и развивающейся экономикой, включая Республику Беларусь	2
Ивуть Р. Б., Зиневич А. С., Скориков В. А. Теоретико-методические основы развития национальной логистической системы в Республике Беларусь	6
Кажуро Н. Я. Концепция устойчивого развития как новая парадигма общественного прогресса	6
Короткевич Л. М., Барсуков А. А. Добавленная стоимость как критерий эффективности производственного процесса в промышленности производства	6
Рудяков В. А. Влияние фактора неопределенности на развитие экономического кризиса в России	2
Сакович В. А., Бровка Г. М. Инновационная безопасность: основные понятия, сущность	2
Трубина Ю. Е. Совершенствование института несостоятельности (банкротства) в Республике Беларусь	6

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

Дробышевская Т. В., Остриков О. М. Задача о расчете напряженно-деформированного состояния, обусловленного единичным двойником в зерне различной формы	3
Кавриго И. П., Осадчий И. А. Способ определения центра вращения вибрирующего объекта	3