

НАУКА и ТЕХНИКА

**Международный
научно-технический журнал**



**Science
and Technique** V. 17, No 4
(2018)

**International
Scientific and Technical Journal**

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

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

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

Published from January 2002
Publication frequency – bimonthly

Учредитель
Белорусский национальный
технический университет

Founder
Belarusian National
Technical University

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

- Leonovich S. N.**
Modeling of Capillary Shrinkage and Cracking
in Early-Age Concrete
(Леонович С. Н. Моделирование капиллярной
усадки и трещинообразование бетона в ран-
нем возрасте) 265
- Осипов С. Н., Захаренко А. В., Поздняков Д. А.**
О долговечности твердых
строительных материалов 278
- Михайлов В. И., Кононович С. И., Чиберкус Ю. Н.,
Воронович А. О.**
Изучение солигорских солеотвалов с помощью
новейших геодезических технологий 288
- Богославчик П. М.**
Расчетная модель размыва грунтовых плотин
при переливе 292
- Смоляков А. В.**
Эффективность в цементе и цементном бетоне
диспергированной гранитной породы 297
- Борухова Л. В., Шибек А. С.**
Нормирование воздухообмена в помещениях
и энергоэффективность жилых зданий 306

CONTENTS

Civil and Industrial Engineering

- Leonovich S. N.**
Modeling of Capillary Shrinkage and Cracking
in Early-Age Concrete 265
- Osipov S. N., Zakharenko A. V., Pozdnyakov D. A.**
On Longevity of Solid
Construction Materials 278
- Mikhailov V. I., Kononovich S. I., Chiberkus Yu. N.,
Voronovich A. O.**
Study of Soligorsk Salt Tailings Piles
while Using Up-To-Date Geodetic Technologies ... 288
- Bohaslauchyk P. M.**
Calculation Model of Soil Dam Wash-Away Due
to Overflow 292
- Smolyakov A. V.**
Efficiency in Cement and Cement Concrete
of Dispersed Granitic Rock 297
- Borukhava L. V., Shybeka A. S.**
Introduction of Norms for Air Exchange in Rooms
and Energy Efficiency of Residential Buildings 306

Экономика промышленности

- Ивуть Р. Б., Попов П. В., Лапковская П. И., Емельянович И. В.**
Оценка влияния автотранспортной инфраструктуры на социально-экономические показатели Минской области 314
- Козловский В. Н., Айдаров Д. В., Шанин С. А.**
Разработка и реализация подхода к определению целей в области качества автопроизводителя по результатам гарантийной эксплуатации автомобилей 320
- Царенкова И. М.**
Экономические основы выбора направлений модернизации сети автомобильных дорог 331
- Швайба Д. Н.**
Системный анализ показателей социально-экономической безопасности 338
- Близнюк О. С.**
Методологические подходы к исследованию понятия «конкурентоспособность» 344

Economy in Industry

- Ivut R. B., Popov P. V., Lapkovskaya P. I., Emelyanovich I. V.**
Evaluation of Motor Transport Infrastructure Influence on Socio-Economic Indicators of Minsk Region 314
- Kozlovskiy V. N., Aydarov D. V., Shanin S. A.**
Development and Realization of Approach for Defining Quality Objectives of Carmaker According to Results of Cars Warranty Period 320
- Tsarenkova I. M.**
Economic Fundamentals for Selecting Directions for Modernization of Highway Network 331
- Shvaiba D. N.**
Systematic Analysis of Indicators for Socio-Economic Security 338
- Bliznyuck O. S.**
Methodological Approaches to Study "Competitiveness" Notion 344

Главный редактор
Борис Михайлович Хрусталеv

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),
- К. В. ДОБРЕГО** (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),
- П. И. ДЯЧЕК** (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),

Editor-in-Chief
Boris M. Khroustalev

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),
- K. V. DOBREGO** (Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus),
- P. I. DYACHEK** (Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus),

- 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),*
- 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),*
- 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),*
- 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),*

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 (Национальная академия наук 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)

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 (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. Guryanichy

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 27.07.2018. Формат бумаги 60×84 1/8. Бумага мелованная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 11,75. Уч.-изд. л. . Тираж 100 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, 2018

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-4-265-277>

UDC 666.972.16

Modeling of Capillary Shrinkage and Cracking in Early-Age Concrete

S. N. Leonovich¹⁾

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

Abstract. Scientific hypothesis on moistening shrinkage mechanism for cement stone and concrete has been assumed as a basis for the present paper. Physical ideas on a mechanism for cracks volume increment in a concrete model presented as two-level structure have been accepted as a theoretical basis for a calculation method of crack resistance during capillary shrinkage. These ideas are the following: a matrix of hardening cement stone with inclusions and emptiness of various forms (cracks) as result of influences that change an intense deformed state in a point and a volume. The following assumptions have been accepted while making a theoretical justification for a calculation method of shrinkable concrete crack resistance. Following this methodology approaches of fracture mechanics according to a generalized criterion have been applied in the paper. Concrete is considered as an elastic quasi-homogeneous two-component medium which consists of the following parts: a) constructive part: a matrix – a cement stone with structural elements of crushed stone, sand; b) destructive part: emptiness – capillaries cracks and pores (cavities with initial cracks in walls). Emptiness in a matrix and contact zones are presented by a coordinated five-level system in the form and sizes which are multiple to a diameter due to impacts while reaching critical sizes. These critical sizes make it possible to pass from one level into another one according to the following scheme: size stabilization – accumulation delocalization – critical concentration in single volume – transition to the following level. Process of cracks formation and their growth are considered as a result of non-power influences on the basis of crack theory principles from a condition that fields of deformation and tension creating schemes of a normal separation and shift occur in the top part of each crack at its level in the initial concrete volume. $K_{cij}(\tau)$ parameter as algebraic amount of critical values K_{ij} in the whole system of all levels of cracks filling canonical volume up to critical concentration has been accepted as a generalized constant of property for concrete crack resistance in time, its resistance to formation, accumulation in volumes of micro-cracks and formation of trunk cracks with critical values. External temperature, moistening long influences create fields of tension in the top parts of cracks. Concrete destruction processes due to cracks are considered as generalized deformed-intensified state in some initial volume having physical features which are inherent to a composite with strength and deformative properties. It is possible to realize analytical calculations for assessment of tension and crack resistance of concrete at early age on the basis of a generalized criterion in terms of stress intensity factor due to modern experimental data on capillary pressure value (70 kPa in 180 min after concrete placing). The developed algorithm of calculation allows to consider factors influencing on capillary pressure: type of cement, modifiers and mineral additives, concrete curing conditions.

Keywords: capillary shrinkage, cracking, early age (plastic) concrete, stress intensity factor, capillary pressure, capillary forces, system of forces

For citation: Leonovich S. N. (2018) Modeling of Capillary Shrinkage and Cracking in Early-Age Concrete. *Science and Technique*. 17 (4), 265–277. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-4-265-277>

Моделирование капиллярной усадки и трещинообразование бетона в раннем возрасте

Докт. техн. наук, проф. С. Н. Леонович¹⁾

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

© Белорусский национальный технический университет, 2018
Belarusian National Technical University, 2018

Реферат. За основу взята научная гипотеза о механизме влажностной усадки цементного камня и бетона. В качестве теоретической основы метода расчета трещиностойкости при капиллярной усадке приняты физические пред-

Адрес для переписки

Леонович Сергей Николаевич
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 150,
220014, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 265-96-76
leonovichsn@tut.by

Address for correspondence

Leonovich Sergey N.
Belarusian National Technical University
150 Nezavisimosti Ave.,
220014, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 265-96-76
leonovichsn@tut.by

ставления о механизме приращения объема пустотности (трещин) в модели бетона, представленной как двухуровневая структура: матрица твердеющего цементного камня с включениями и пустоты различной формы (трещины) как результат воздействий, изменяющих напряженно-деформированное состояние в точке и объеме. При теоретическом обосновании метода расчета усадочной трещиностойкости бетона с использованием подходов механики разрушения по обобщенному критерию приняты следующие допущения. Бетон рассматривается как упругая квазиоднородная двухкомпонентная среда, состоящая из: а) конструктивной части: матрицы – цементного камня со структурными элементами щебня, песка; б) деструктивной части: пустот – капилляров-трещин и пор (полостей с начальными трещинами в стенках). Пустоты в матрице и контактных зонах представлены соподчиненной пятиуровневой системой по форме и размерам, кратным диаметру, под воздействиями по достижении критических размеров, переходящие из уровня в следующий уровень по схеме: стабилизация размеров – делокализация накопления – критическая концентрация в единичном объеме – переход на следующий уровень. Процесс формирования и движения трещин рассматривается как результат несиловых воздействий на основе принципов теории трещин из условия, что в вершине каждой трещины своего уровня в каноническом объеме бетона возникают поля деформаций и напряжений, создающие схемы нормального отрыва и сдвига. В качестве обобщенной константы свойства трещиностойкости бетона во времени, его сопротивления образованию, накоплению в объемах микротрещин и формированию магистральных трещин критических величин принят параметр $K_{cij}(\tau)$ как алгебраическая сумма критических значений K_{ij} во всей системе всех уровней трещин-пустот, заполняющих канонический объем до критической концентрации. Внешние температурные, влажностные длительные воздействия создают поля напряжений в вершинах пустот – трещин. Процессы разрушения бетона трещинами рассматриваются как обобщенное напряженно-деформированное состояние в некотором каноническом объеме, обладающем физическими особенностями, присущими композиту с прочностными и деформативными свойствами. Аналитические расчеты для оценки напряженного состояния и трещиностойкости бетона в раннем возрасте на основе обобщенного критерия в терминах коэффициентов интенсивности напряжений возможно реализовать благодаря современным экспериментальным данным о величине капиллярного давления (70 кПа через 180 мин после укладки). Разработанный алгоритм расчета позволяет учесть влияющие на капиллярное давление факторы: вид цемента, модификаторы и минеральные добавки, условия выдерживания бетона.

Ключевые слова: капиллярная усадка, трещинообразование, бетон в раннем возрасте, коэффициент интенсивности напряжений, капиллярное давление, капиллярные силы, система сил

Для цитирования: Леонович, С. Н. Моделирование капиллярной усадки и трещинообразования бетона в раннем возрасте / С. Н. Леонович // *Наука и техника*. 2018. Т. 17, № 4. С. 265–277. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-4-265-277>

Introduction. State of art

Modern technologies high performance concrete (HPC) are based on the following factors: low W/C ratio (0.2–0.3), complex use of micro and nanosilicon dioxide and effective super plasticizers. At the same time composites with dense micro porous high-disperse structure cement C–S–H-gel are formed [1]. This structure is characterized by the following indicators: the volume of pores aren't higher, than 4–6 %; the amount of pores with $r \leq$ of 20 nanometers to 30 % of the total amount of pores. High strength and durability of these concrete are implemented in bridges, tunnels, modern roads, base plates, frameworks of high-rise buildings. These unique constructions are characterized by the high module of a surface of structures, that promotes influence of concrete moist deformations on the intense deformed state, formation and growth of cracks [2–5].

Traditionally deformations of concrete are investigated from the moment of its drying at early age at moist shrinkage against the background

of the hydration processes, accompanied with hydration shrinkage. Moist deformations in structures with the high surface module are the reason of development of considerable tension during the initial and operational periods at moistening drying. There is an opinion [2–5], that hydration shrinkage influences less the general deformation of a high-performance cement stone in view of its micro porous dense structure.

Under the leadership of the academician E. N. Chernyshov, development of moist deformations at two options of process realization is investigated: a cement stone dehydration at the age of 1 days, when the general shrinkage consists of hydration (autogenous) shrinkage and moist shrinkage (drying shrinkage); dehydration of a “old” cement stone (age more than 1 year), when shrinkage is defined by moist shrinkage.

The scientific hypothesis of the mechanism of moist shrinkage of a cement stone and concrete, based on the analysis of modern theoretical representations and models of shrinkage [6–9] (tab. 1), is assumed as a basis.

Table 1

Hypothesis of the moist shrinkage mechanism

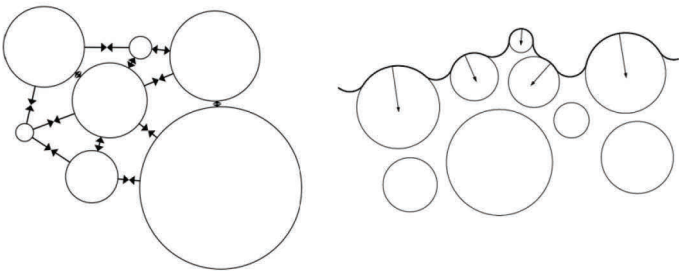
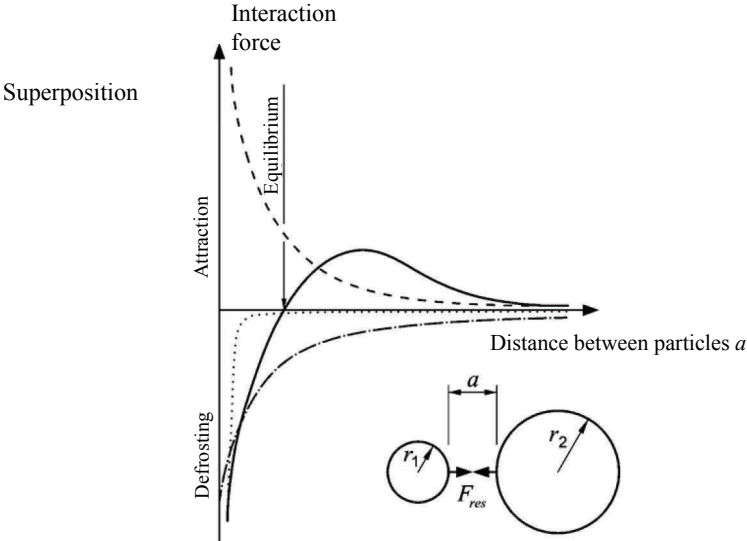
Stage	Relative humidity, %	Phenomenon	Change of capillary pressure, shrinkable tension and deformations
1	RH = 80–95	On the initial stage of drying, water is removed from large pores, $r = 100$ nm	Capillary pressure is low. The size of shrinkable tension and deformations is insignificant
2	RH = 40–80	Removal of water from a time with a radius of $20 \text{ nm} < r < 100$ nanometers. Owing to effect of elastic restoration of a solid phase volume at reduction of comprehensive compression, expansion of system is possible	Capillary pressure increases. Moist shrinkage increases
3	RH < 40	After removal of the capillary and connected water from pore space removal of the adsorptive and connected water begins with a surface of a solid phase, as a result its extent of compression decreases and force of elastic expansion increases	The accruing influence of forces of a superficial tension. Disappearance of forces of capillary pressure during removal of the adsorbed liquid phase. The increasing shrinkage role from intermolecular forces of interaction of particles of disperse system (rapprochement)

At different stages of removal of water from material consistently or in parallel action of capillary forces and forces of a superficial tension, for-

ces of internal ties in crystalline hydrates, forces of elastic counteraction of a solid phase to its deformation (tab. 2), can be shown.

Table 2

The nature of influences and the influencing factors on a crack formation at capillary shrinkage

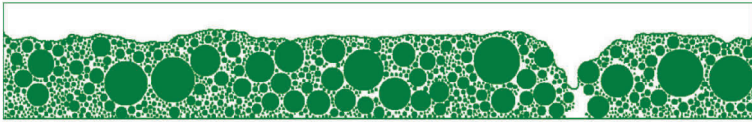
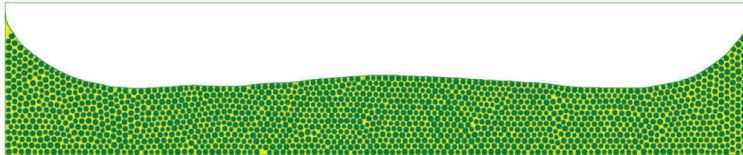
Influence	Physics of processes. Main dependences
Impacts and the influencing factors on a crack formation at capillary shrinkage: a – forces of interaction between particles; b – forces which are result of capillary pressure Gravitational forces aren't shown	
Interaction forces — resultant force F_{res} - - Sil Van der Waals - - - Electrostatic force ···· Bourne's pushing away	

Break-over, table 2

Influence	Physics of processes. Main dependences
1. Van der Valls's forces A_H – Constant Gamakera; r – particle radius; a – distance between particles	$F_{vdW} \cong A_H \frac{R}{12a^2}$ where $R = \frac{2r_1r_2}{r_1 + r_2}$
2. Electrostatic forces ϵ_0, ϵ_r – vacuum and relative dielectric constants; ζ – zet potential; k_B – Boltzmann constant; T – absolute temperature; e – elementary charge; z_+, n_+^b – valency and concentration of equivalent symmetric electrolyte	$F_{el} = -2\pi\epsilon_0\epsilon_r\zeta^2R \frac{1}{\delta} \cdot \frac{e^{a/\delta}}{1 + e^{a/\delta}}$ where $\delta = \sqrt{\frac{\epsilon_0\epsilon_r k_B T}{2e^2 z_+^2 n_+^b}}$

Table 3

Shrinkage modeling

Stages modeling	Scheme of calculation. Illustrations
1. Suspension drying • Water evaporation • Formation of menisciuses between surfaces of particles • Growth of capillary pressure • The movement of particles under the influence of various forces • Localization of deformations • Formation of cracks	
2. Modelling F_i – the sum of forces operating on i particle, including forces of internal interaction, capillary and depreciation forces of F_d without gravitational forces (gravity); g – acceleration of gravity	Settlement scheme $F = m\ddot{u}; \ddot{u} = \frac{F}{m} = \frac{F_1}{m} + g; F_d = -\alpha m \dot{u}$  $\Delta t = 2\beta \cdot \sqrt{\frac{m_{\min}}{k_{\max}}}; \quad 0 \leq \beta \leq 1; \quad k - \text{contact rigidity}$

Proceeding from it, the value of moist shrinkage of material, regularity of this process are defined by force of communication of structure with water. At various stages of dehydration the balance of forces of tie of structure with water and respectively, the value of shrinkage is defined by the following criteria structural characteristics: surface area and superficial energy of a solid phase, volume amount of pores and their sizes (tab. 2). Occurring at change of a cement stone and concrete structure, change of the specified characteristics influence to force of tie of structure with water, moist shrinkage value at each stage of dehydration.

Model of capillary pressure

In works [10–13] the model of the capillary pressure (fig. 1) is presented and experimental data of its growth (fig. 2) are presented.

The factors, influencing the capillary pressure (tab. 4) are analyzed. The main thing, the experimental data on change of capillary pressure, volume of the evaporated water and volume of a sample of concrete used as initial for calculation (fig. 3) are obtained.

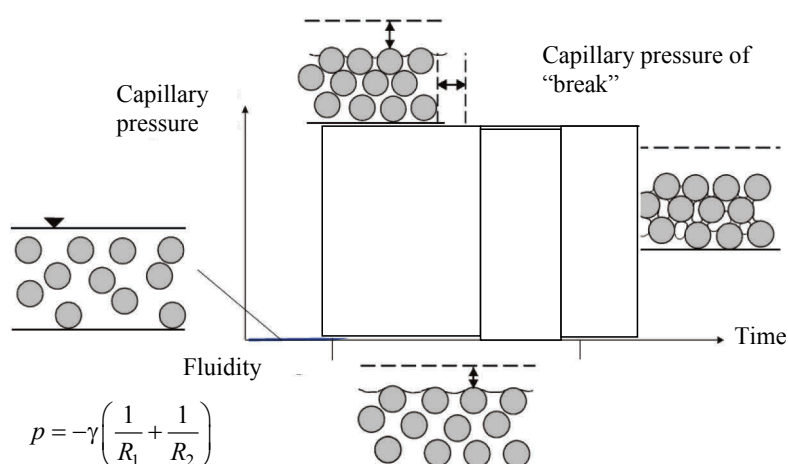


Fig. 1. Model of capillary pressure

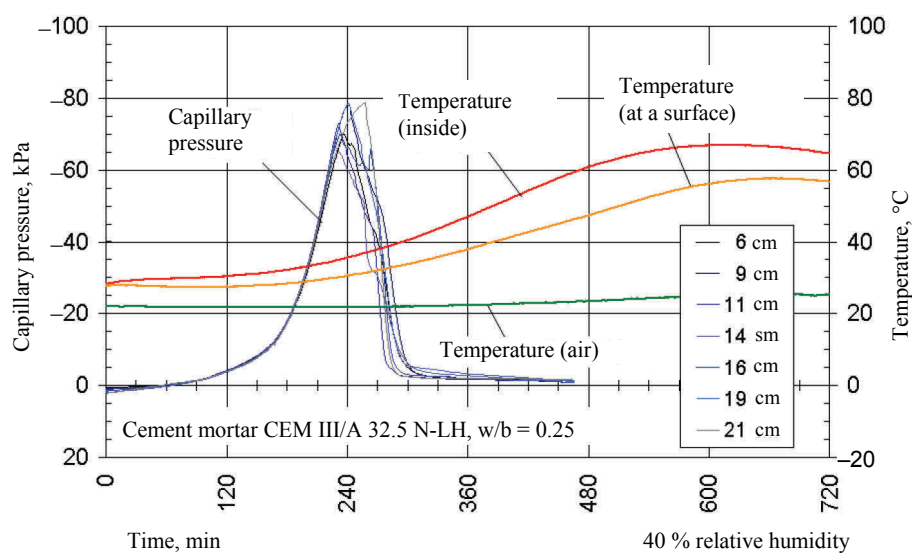


Fig. 2. Capillary pressure (experimental data) [10–13]

Table 4

The factors, influencing capillary pressure [14–16]

Contributing factor	Dependence of capillary pressure
1. Type of cement. Ashes ablation 20 °C, 45 % relative moisture	Capillary pressure, Mbar Capillary pressure, kPa Time, min CEM 142.5 R Fly ash CEM 132.5 R

Contributing factor	Dependence of capillary pressure
2. Keeping conditions a) Loss of moisture from a surface	
b) Capillary pressure in time in a concrete sample at constant replenishment of amount of the evaporated water	
c) Capillary pressure in time in a concrete sample at normal and moist curing and without him	

Solution on cement CEM I 42.5 R

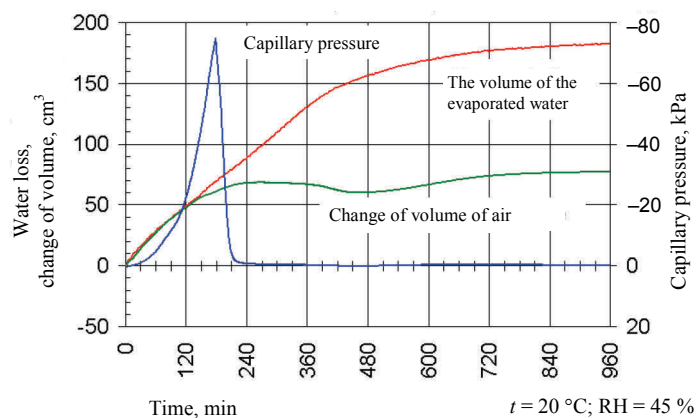


Fig. 3. Capillary pressure and shrinkage

General provisions of calculation

As a theoretical basis of a method, physical ideas of the mechanism of an increment of volume of cracks in the model of concrete, presented as two-level structure are accepted: a matrix of the hardening cement stone with inclusions and emptiness of various form (crack) as result of the influences changing stress-deformed state in a point and volume.

The main criterion of a method is the generalized total parameter of crack resistance of R $K_c = \sqrt{(K_{IC}^2 + K_{IIc}^2)}$ [or $K_c(\tau)$], calculated on the basis of model schemes of development, association, localization of system of cracks, their classification by types and relative quantity in volume at the initial concentration, increasing to critical, that is caused by physical processes of change of temperature, a condition of water and physical and chemical processes of accumulation of substances of new growths.

At theoretical justification of a method of calculation of shrinkable crack resistance of concrete with use of approaches of mechanics of destruction by the generalized criterion the following assumptions are accepted.

1. Concrete is considered as the elastic quasi-homogeneous two-component medium consisting from: a) constructive part: matrixes – a cement stone with structural elements of crushed stone, sand; b) destructive part: emptiness: capillaries cracks and pores (cavities with initial cracks in walls). Initial physic-mechanical properties of concrete (constructive) are estimated by strength and deformativny characteristics of R_b , R_{bt} , E_b and parameters of fracture mechanics K_I , G_i , J_i .

2. Emptiness in a matrix and contact zones are presented by the coordinated five-level system in a form and the sizes, multiple to diameter, under influences on reaching the critical sizes, passing from level into the following level according to the scheme: stabilization of the sizes – accumulation delocalization – critical concentration in single volume – transition to the following level.

3. Process of formation and the movement of cracks is considered as result of not power influences on the basis of the principles of the theory of cracks from a condition, that in top of each crack of the level in the initial volume of concrete, there are fields of deformations and tension creating schemes of a normal separation and shift.

The arising condition is estimated by the corresponding amount of fracture energy G_{ij} and stress intensity factor $K_{ij} = \sqrt{G_{ij}E_{ij}}$.

4. As the generalized constant of concrete crack resistance in pores, its resistance to formation, accumulation in volumes of micro cracks and to formation of trunk cracks of critical values the $K_{cij}(\tau)$ parameter, as the algebraic amount of critical K_{ij} values in all system of all levels of the cracks, emptiness, filling canonical volume to critical concentration is accepted.

5. External temperature, moist long influences create fields of tension in tops of emptiness – cracks, which assessment is considered by parameter D with application of provisions of the theory of aging of concrete:

$$K_{ic}(\tau) = K_{ic}(\tau_o)D. \quad (1)$$

6. Concrete destruction processes by cracks are considered, as the deformed state generalized intense in some initial volume, having the physical features inherent in a composite with strength and deformativny properties R_b , R_{bt} , v . Features of physical processes of moving micro and macro cracks in the studied volume are reliable and proved by experimental data by definition of l_{crc} , G_i , J_i , K_I and K_{II} on samples cubes (prisms) section of 100×100 mm in size with an optimum diameter of large inclusions no more than 15 mm.

Deformativny and strength properties in the single volume of concrete of any structure are provided with the system of active and reactive forces in structure:

$$\sum N_{act} - \sum N_{react} = R_i. \quad (2)$$

The change of external conditions, temperatures, humidity, pressure in defects of structure of P , C , C filled with liquid, steam, ice arise forces, the sizes and amount of defects, quantity and property of structural ties change, that influences the level of initial properties R_i , E_j and levels of their measured limits.

Theoretical justifications and analytical solutions of tension and crack resistance of concrete on the basis of the generalized criterion

Let some elementary volume of a cement stone include a quantity of emptiness – the capillaries containing a certain amount of free water, depen-

ding on external conditions. Then the capillary model (the concentrator of tension, initiating emergence of micro cracks) for which walls some forces, caused by the water, which is contained in its volume are made can be presented in the form: (fig. 4, where l_c – capillary length; the size b_c depends on humidity of actually cement stone; a_c – diameter of emptiness – a capillary).

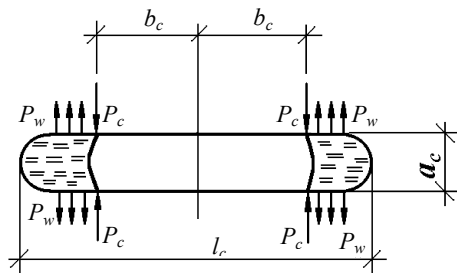


Fig. 4. Model of the capillary filled with water

Model parameters in characteristic points of t , W , P charts of a state will be the following characteristics: l_c and a_c – the initial extent of emptiness – a capillary; W – humidity and t – temperature of a cement stone.

State 1. Condition: $t = \text{const}$; $W \neq \text{const}$; $P \neq \text{const}$.

We will determine capillary forces by a formula

$$P_c = \pi \sigma a_c \cos \theta, \quad (3)$$

where σ – a superficial tension of liquid; θ – the angle of wetting or a regional corner on border “liquid – a capillary wall”.

Proceeding from the analysis of the value σ which at a critical temperature addresses in zero it is possible to write down:

$$\sigma = \sigma_0 (1 - t/t_k), \quad (4)$$

where $t_k = 370^\circ$ (for water); $\sigma_0 = 0,076 \text{ N/M}$ ($t = 0$).

Then force, applied to the coast of a capillary, will be defined from

$$P_c = \sigma_0 \pi a_c \cos \theta (1 - t/370). \quad (5)$$

Points of application of forces of P_c depend on W . Considering an increment of an amount of water in a capillary due to change of humidity

$$b_c = l_c / 2 (1 - W/100). \quad (6)$$

At action on the top and lower coast of a crack in the points, remote from the center of a crack on distance of b , equal of the normal concentrated forces P (but opposite in the direction) (fig. 5), the stress of intensity factor (SIF) at a normal separation of K_I is determined by Earvin's formula [17]

$$K_I = 2P\sqrt{l} / \sqrt{\pi(l^2 - b^2)}. \quad (7)$$

In the accepted designations the formula for flat tension has an appearance

$$K_I = 2P_C \sqrt{l_c/2} / \sqrt{\pi(\sqrt{l_c^2/4 - b_c^2})} \quad (8)$$

and stress intensity factor from action of capillary forces

$$K_I = 2P_C \sqrt{l_c/2} / \sqrt{\pi(\sqrt{l_c^2/4 - b_c^2})} g_c. \quad (9)$$

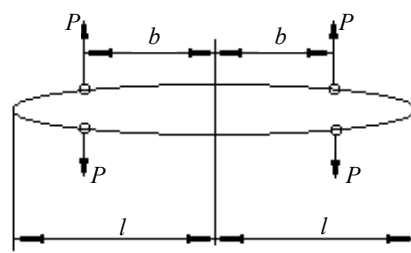


Fig. 5. Action on coast of a crack of several normal concentrated forces

In view of (5) and (6), we have

$$\begin{aligned} K_I &= 2\pi a_c \cos \theta \times \\ &\times \sigma_0 (1 - t/t_k) \sqrt{l_c/2} / g_c \sqrt{\pi(l_c^2/4 - b_c^2)} = \\ &= 4\sqrt{\pi} / \sqrt{2} a_c \cos \theta \times \\ &\times \sigma_0 (1 - t/t_k) / g_c \sqrt{l_c [1 - (1 - W/100)^2]}. \end{aligned}$$

Thus, the stress intensity factor at a normal separation from capillary forces is defined by the geometrical sizes of a capillary a_c , l_c , its filling with moisture W and the angle of wetting of θ , a superficial tension at 0°C σ_0 and temperature, distance between g_c capillaries.

If development of a capillary in length doesn't happen, then the size of change of width (radius) of a capillary is defined

$$a_c^p = (2\pi/g_c E_{cs}) P_c / n \times \left\{ \left[l_c/2 - \sqrt{(l_c/2)^2 - b_c^2} \right] / \left[l_c/2 + \sqrt{(l_c/2)^2 - b_c^2} \right] \right\}, \quad (10)$$

where g_c – the distance between two next capillaries, which is function of porosity (W/C); E_{cs} – the module of elasticity of a cement stone

With change the expert at invariable value W also points of application of forces of P_c (fig. 6) are displaced: originally P_{c1} , then P_{c2} .

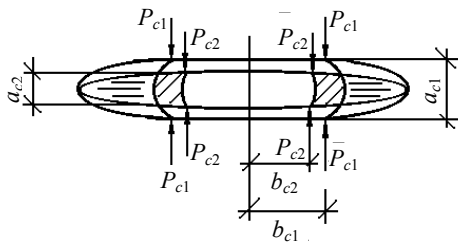


Fig. 6. Change of points of application of capillary forces at reduction of diameter of a capillary

Considering, that water volume in a capillary of $V = (\pi a_{c1}^2/4)(l_c - 2b_{c1})$ invariable, we will receive

$$b_{c2} = (2a_{c1}^2 b_{c1} + a_{c2}^2 l_c - a_{c1}^2 l_c) / 2a_{c2}^2,$$

where $a_{c2} = a_{c1} - a_c^p$.

If the humidity of a cement stone changes in the course of shrinkage, then

$$b_{c2} = \left[l_c \left(2a_{c1}^2 (1 - W/100) / 2 + a_{c2}^2 - a_{c1}^2 \right) \right] / 2a_{c2}^2 \mp \mp (l_c/2)(1 - \Delta W/100) = \\ = l_c/2 \left[\left(1 - (a_{c1}/a_{c2})^2 (W/100) \pm (1 - \Delta W/100) \right) \right],$$

where ΔW – change of humidity: the sign “–” at increase in W , the sign “+” at reduction.

Then intensity of tension in capillary top

$$K_I = 2\pi a_{c2} \cos \theta \cdot \sigma_0 (1 - t/t_k) \times \\ \times \sqrt{l_c/2} / g_c \sqrt{\pi \left(\sqrt{l_c^2/4 - b_c^2} \right)}.$$

Shrinkage deformation, if to take into account, that capillaries (micro cracks) are evenly distributed on concrete volume, is defined from

$$\varepsilon_{sh} = P_c G_{lc} / (l_c K_{lc}^2 a_c), \quad (11)$$

where G_{lc} – energy of destruction of a cement stone.

In the direction, parallel to action of forces of P_c , the main shifting tension causing in tops of a capillary of deformation of cross shift described by stress intensity factor of K_{II} , which size is attached to a capillary

$$K_{II} = \tau \sqrt{\pi l_c}, \quad (12)$$

where τ – main tangent tension.

We will define them, in view of that capillaries are evenly distributed on the area of concrete. Taking into account (11) and (12)

$$K_{II} = P_c \sqrt{\pi l_c} / (g_c a_c).$$

At the time of $K_{II} = K_{II}^{cs}$ growth of a micro crack in length will be defined by the mechanism of cross shift.

State 2. Condition: $W = \text{const}$; $t \neq \text{const}$; $P \neq \text{const}$.

We will consider a cement stone at the macro level. It consists of not hydrated grain and the hydrated weight which in turn consists of emptiness – pores (capillaries) and crystal system (micro level).

In the hydrated weight micro defects of two types will be observed: I – capillaries; II – the cracks of a normal separation formed because of the difference of modules of elasticity and coefficients of linear expansion of not hydrated grain and the hydrated weight. Then the general resilience of a cement stone to development of temperature cracks in terms of stress intensity factors are defined from:

$$K_{I,t}^{cs} = K_{I,t}^I + K_{I,t}^{II};$$

$$K_{II,t}^{cs} = K_{II,t}^I + K_{II,t}^{II},$$

where $K_{I,t}^I$, $K_{II,t}^I$ – the stress intensity factors in top of capillaries, caused by the intra capillary pressure of water; $K_{I,t}^{II}$, $K_{II,t}^{II}$ – the same in tops of cracks like II.

Then at the time of development of micro-cracks and their combining in trunk macrocracks

$$K_{lc,t}^{cs} = K_{lc,t}^I + K_{lc,t}^{II};$$

$$K_{llc,t}^{cs} = K_{llc,t}^I + K_{llc,t}^{II}.$$

We will consider capillary micro defects in the temperature range: 1 (water).

Range 1 (water). The capillary is affected by the system of forces shown in fig. 7. Forces of P_c are defined by capillary pressure; P_w – expansion of water at temperature increase; P_{cs} – expansion of crystal system; τ – the tangent tension, arising from action of forces in the capillaries focused parallel to forces of P .

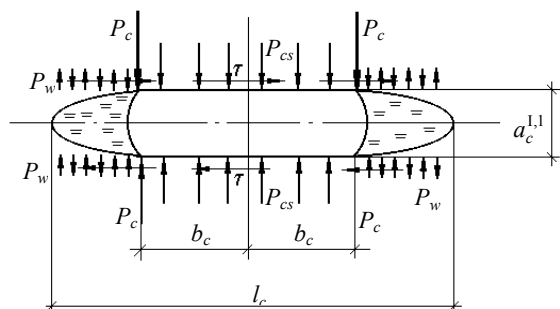


Fig. 7. The system of forces operating on the capillary filled with water

Thus

$$K_{1,t}^{1,1} = K_{1,t}^{1,1,C} - K_{1,t}^{1,1,W} + K_{1,t}^{1,1,CS},$$

or at the time of local destruction

$$K_{1,C,t}^{1,1} = K_{1,C,t}^{1,1,C} - K_{1,C,t}^{1,1,W} + K_{1,C,t}^{1,1,CS}.$$

Then

$$K_{1,t}^{1,1,C} = (4\sqrt{\pi}/\sqrt{2})a_c \cos \theta \times \\ \times \sigma_0 (1-t/t_k)/g_c \sqrt{l_c [1-(1-W/100)^2]}.$$

The size P_w will be defined from

$$P_w = \alpha_{t,w} \Delta T E_w$$

and the size $\alpha_{t,w}$ on the basis of the analysis of skilled data

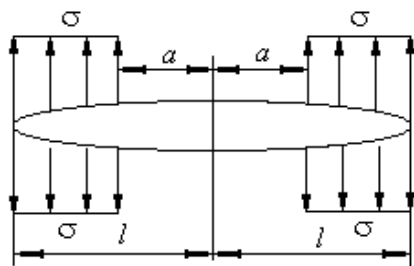


Fig. 8. Action of continuous normal forces on symmetric trailer sites of cracks

$$\alpha_{t,w} = 0,000067 + 0,0000076t.$$

At action of constant normal loading by intensity of σ on the symmetric trailer sites of a crack adjoining tops of a crack (fig. 8) according to G. Sih's decision [18], SIF at a normal separation is determined by a formula

$$K_I = \sigma \sqrt{\pi l} [1 - (2/\pi) \arcsin(a/l)].$$

Then SIF from temperature expansion of the water closed by capillary forces in capillary tops

$$K_{1,t}^{1,1,W} = \alpha_{t,w} \Delta T E_w \sqrt{\pi l_c / 2} [1 - (2/\pi) \arcsin(2b_c/l_c)]. \quad (13)$$

The size P_{cs} will be defined from

$$P_{cs} = \alpha_{t,cs} \Delta T E_{cs}.$$

At action on coast of a crack of a constant of normal (σ) and the loading (fig. 9) of KIN moving (τ at a normal separation and cross shift is determined by G. P. Cherepanov [19] and V. V. Panyasyuk's formulas [20]:

$$K_I = \sigma \sqrt{\pi l};$$

$$K_{II} = \tau \sqrt{\pi l}.$$

Then SIF from temperature expansion of crystal system is calculated from expression

$$K_{1,t}^{1,1,CS} = \alpha_{t,cs} \Delta T E_{cs} \sqrt{\pi l_c / 2}. \quad (14)$$

If $K_{1,C,t}^{1,1,C} + K_{1,C,t}^{1,1,CS} > K_{1,C,t}^{1,1,W}$, then size $a_c^{1,1}$ decreases and vice versa. We will determine width of disclosure (radius) of a capillary from

$$a_c^{1,1} = a_c^b + a_c^{cs} - a_c^c, \quad (15)$$

where all entering (15) parameters are determined by a formula (10).

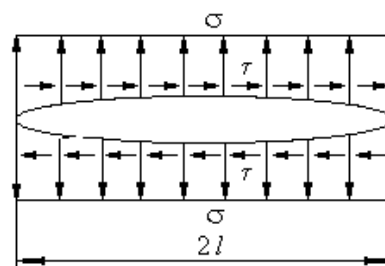


Fig. 9. Action of constant loading on coast of a crack

Size $K_{II,t}^{1,1}$ is defined on

$$K_{II,t}^{1,1} = \left[\sigma_0 \pi a_c \cos \theta (1 - t/t_k) + \alpha_{t,cs} \Delta E_{cs} l_c g_c - 2\alpha_{t,w} \Delta E_w g_c (l_c/2 - b_c) \right] \sqrt{\pi l_c} / \sqrt{2} g_c^2. \quad (16)$$

Depending on orientation of the closed cracks or capillaries, they can be filled with liquid asymmetrically, then the intensity of tension in tops of defect won't be identical. Such capillary is affected by the system of forces shown in fig. 10. At the same time

$$K_{I,t}^{1,1} + K_{I,t}^{1,1,C,m} - K_{I,t}^{1,1,W,m} + K_{I,t}^{1,1,cs}, \quad (17)$$

where $K_{I,t}^{1,1,C,m} = (K_{I,t}^{1,1,C,A} + K_{I,t}^{1,1,C,B})/2$; $K_{I,t}^{1,1,C,A}$ – stress intensity factor in a point A from action of forces P_c ; $K_{I,t}^{1,1,C,B}$ – the same, in a point B ; $K_{I,t}^{1,1,W,m} = (K_{I,t}^{1,1,W,A} + K_{I,t}^{1,1,W,B})/2$; $K_{I,t}^{1,1,W,A}$ – SIF in a point A from action of forces P_w ; $K_{I,t}^{1,1,W,B}$ – the same, in a point B .

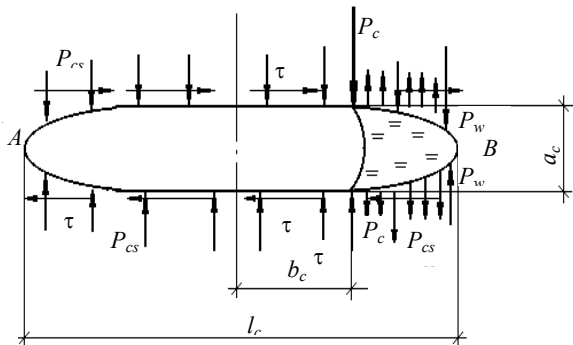


Fig. 10. The system of forces operating on the capillary which is asymmetrically filled with water

When on the top and lower coast of a crack in the point remote from the center of a crack on b distance, the concentrated forces (fig. 11), SIF, normal, opposite in the direction, according to de-

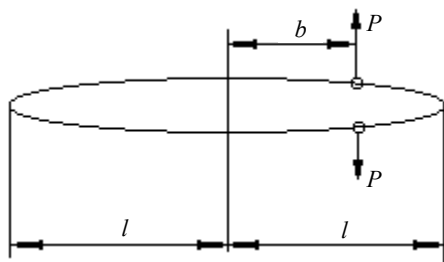


Fig. 11. Action on coast of a crack of the concentrated forces

cisions V. V. Panasyuk, M. P. Savruk, A. P. Datsyshin, J. Sih, G. Libovits are applied, P. Paris, J. Irvin, G. P. Cherepanov [21–23, 19, 17, 18, 24] are defined from expression

$$K_I^{\pm} - iK_{II}^{\pm} = \left(1/\sqrt{\pi l} \right) \left[(P - iQ) \sqrt{(l \pm b)/(l \mp b)} \pm Ml / \left((l \mp b) \sqrt{l^2 - b^2} \right) \right],$$

here and further the sizes $K_I^{\pm}$ and $K_{II}^{\pm}$ with the lower sign belong to the left top of a crack ($x = -l$), and with top – to right ($x = l$).

Then stress intensive factor from capillary forces in points A and B respectively:

$$K_{I,t}^{1,1,C,A} = P_c \sqrt{(l_c/2 - b_c)/(l_c/2 + b_c)} / \sqrt{\pi l_c/2};$$

$$K_{I,t}^{1,1,C,B} = P_c \sqrt{(l_c/2 + b_c)/(l_c/2 - b_c)} / \sqrt{\pi l_c/2};$$

$$K_{I,t}^{1,1,C,m} = (K_{I,t}^{1,1,C,A} + K_{I,t}^{1,1,C,B})/2 = P_c \sqrt{2} / \sqrt{\pi(l_c^2 - 4b_c^2)}.$$

When on coast of cracks on site $b \leq x \leq c$ are enclosed constant normal (σ) and shifting (τ) of effort (fig. 12), using J. Sih and P. Paris's decision [24], SIF equal

$$K_I^{\pm} - iK_{II}^{\pm} = \left(\sigma - i\tau \sqrt{l/\pi} \geq \left[\arcsin(c/l) - \arcsin(b/l) \mp \sqrt{1 - (c/l)^2} \pm \sqrt{1 - (b/l)^2} \right] \right). \quad (18)$$

From where SIF from action of forces of P_w in points A and B a capillary will be:

$$K_{I,t}^{1,1,W,A} = \alpha_{t,w} \Delta E_w \sqrt{l_c/2\pi} \times \left[\pi/2 - \arcsin(2b_c/l_c) - \sqrt{1 - (2b_c/l_c)^2} \right];$$

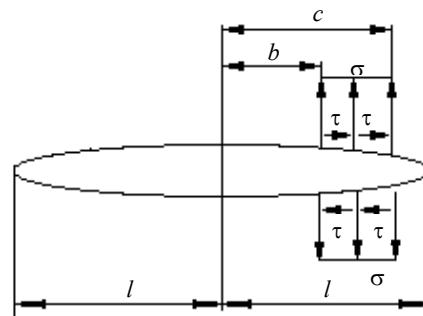


Fig. 12. Action of constant loading on the internal site of the top and lower coast of a crack

$$K_{I,t}^{1,1,W,B} = \alpha_{t,w} \Delta t E_w \sqrt{l_c/2\pi} \times \\ \times \left[\pi/2 - \arcsin(2b_c/l_c) + \sqrt{1 - (2b_c/l_c)^2} \right];$$

$$K_{I,t}^{1,1,W,m} = \alpha_{t,w} \Delta t E_w \sqrt{l_c/2\pi} \left[\pi/2 - \arcsin(2b_c/l_c) \right].$$

The stress intensity factor in each of tops of the capillary which is asymmetrically filled with water can be defined from:

$$K_{I,t}^{1,1,A} = K_{I,t}^{1,1,C,A} - K_{I,t}^{1,1,W,A} + l/2 K_{I,t}^{1,1,cs};$$

$$K_{I,t}^{1,1,B} = K_{I,t}^{1,1,C,B} - K_{I,t}^{1,1,W,B} + l/2 K_{I,t}^{1,1,cs}.$$

We will consider the regional cracks or not closed capillaries (index II) coming to a surface (side) of a sample. In the first temperature range the crack (time) is affected by the system of forces shown in fig. 13, at the same time

$$K_{I,t}^{II,1} = K_{I,t}^{II,1,C} - K_{I,t}^{II,1,W} + K_{I,t}^{II,1,cs}. \quad (19)$$

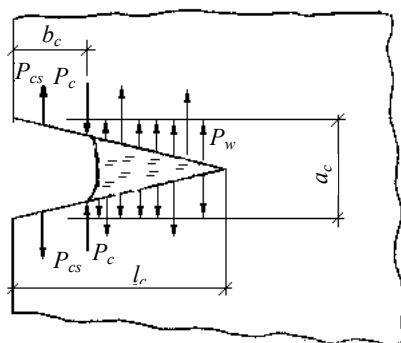


Fig. 13. The system of forces operating on not closed capillary in the first temperature range

Let the return be attached to opposite coast of a crack at b distance from the region of the half-plane equal in size, but in the direction the normal and tangent concentrated forces (fig. 14). Then from the decision, received by V. V. Panasyuk, M. P. Savruk, A. P. Datsyshin [21–23] by means of special approximation of the singular integrated equation follows

$$K_I - iK_{II} = 2(P - iQ) \sqrt{c/2\pi l} / \sqrt{1 - (b/l)^c},$$

where $c = 2\pi^2 / (\pi^2 - 4)$.

Then intensity of tension in top of regional defect from action of capillary forces

$$K_{I,t}^{II,1,C} = 2P_c \sqrt{c/2\pi l_c} / \sqrt{1 - (b_c/l_c)^c} = \\ = \sqrt{2c} P_c / \sqrt{\pi l_c [1 - (b_c/l_c)^c]}. \quad (20)$$

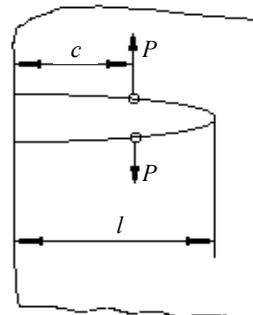


Fig. 14. The half-plane with a regional crack at action in any points of its coast of the concentrated forces

When on coast of a crack piece-wise and constant loading (fig. 15) is set, and the region of the half-plane is free from tension, the numerical solution of the integrated equations on the basis of which by method of interpolation of R. Hartranft and J. Sih have constructed analytical expression for SIF [25, 18] was used

$$K_I - iK_{II} = \\ = 2(P - i\tau) \sqrt{\pi l} (2/\pi) \arccos(b/l) [1 + f(b/l)].$$

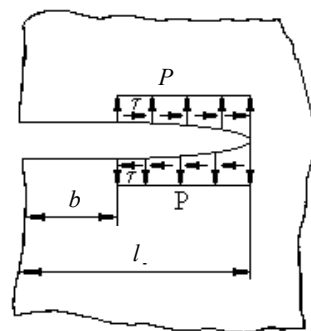


Fig. 15. Action of piecewise and constant loading on coast of a regional crack in the half-plane

Values of the $f(b/l)$ function are given by G. Sih [18] and can be approximated by expression $f(b/l) = 0,1215(1 - b/l)$.

Intensity of tension in top of regional defect from linear expansion porovoy waters

$$K_{I,t}^{II,1,W} = P_w \sqrt{\pi l_c} (2/\pi) \arccos(b_c/l_c) \times \\ \times [1 + f(b_c/l_c)] = 2P_w \sqrt{l_c/\pi} \times \\ \times ABC \arccos(b_c/l_c) [1 + 0,1215(1 - b_c/l_c)]. \quad (21)$$

The stress intensity factor caused by expansion of crystal system at increase in temperature is defined from expression

$$K_{I,t}^{II,1,cs} = P_{cs} \sqrt{\pi l_c} (2/\pi) \arccos(o) [1 + f(o)] =$$

$$= \alpha_{t,cs} \Delta E_{cs} \sqrt{\pi l_c} (2/\pi) 1,5708 [1 + 0,1215] = \quad (22)$$

$$= 3,523 \alpha_{t,cs} \Delta E_{cs} \sqrt{l_c / \pi}.$$

CONCLUSIONS

1. As a theoretical basis of a method, physical ideas of the mechanism of an increment of volume of cracks in concrete shrinkage model are accepted.

2. The main criterion of a method is the generalized total parameter of crack resistance K_c .

3. Modern ideas of the mechanism of moist shrinkage, experimental data of the value of capillary pressure (70 kPa in 180 min) allow to execute analytical decisions for assessment of tension and crack resistance of concrete at early age on the basis of the generalized criterion in terms of coefficients of stress intensity factors.

4. The developed algorithm of calculation of crack resistance at shrinkage allows to consider the factors influencing capillary pressure: a type of cement, existence of modifiers and mineral additives, conditions of keeping of concrete (superficial wetting, completion of the evaporated water, normal and moist curing).

REFERENCES

- Kaprielov S., Sheynfeld A., Kardumian H., Dondukov V. (2006) Characteristics of the Structure and Properties of High-Strength Concrete, Containing Multicomponent Modifiers Including Silica Fume, Fly Ash and Metakaolin. *16 International Baustofftagung (IBAUSIL)*. Weimar, Deutschland, Vol. 2, 77–84.
- Slavcheva G. S., Chernyshov E. M., Kim L. V. Moist Shrinkage of the Modified Cement Stone in the Course of Early Dehydration and After Aging // Modern Technologies and Development of Political Education: Far East Federal Un-t, on Sept. 19–23, 2016. Vladivostok, 2016.
- Yang Y., Sato R., Kawai K. (2005) Autogenous Shrinkage of High-Strength Concrete Containing Silica Fume under Drying at Early Ages. *Cement and Concrete Research*, 35 (3), 449–456. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.06.006>.
- Zhutovsky S., Kovler K. (2012) Effect of Internal Curing on Durability-Related Properties of High Performance Concrete. *Cement and Concrete Research*, 42 (1), 20–26. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.07.012>.
- Aitcin P. C. (2003) The Durability Characteristics of High Performance Concrete: a Review. *Cement & Concrete Composites*, 25 (4–5), 409–420. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(02\)00081-1](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(02)00081-1).
- Ayano T., Wittman F. (2002) Drying, Moisture Distribution, and Shrinkage of Cementbased Materials. *Materials and Structures*, 35 (247), 134–140. <https://doi.org/10.1617/13693>.
- European Standard EN 197-1. *Cement – Part 1: Composition, Specifications and Conformity Criteria for Common Cements*. European Commission for Standardization (CEN), 2000. 33.
- State Standard 24544–81. *Concrete. Methods of Definition of Deformations of Shrinkage and Creep*. Moscow, Publishing House of Standards, 1982. 26 (in Russian).
- ASTM C157/C157M-08 *Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete*. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2008. 7.
- Slowik V., Schmidt M., Fritzsche R. (2008) Capillary Pressure in Fresh Cement Based Materials and Identification of the Air Entry Value. *Cement & Concrete Composites*, 30 (7), 557–565. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.03.002>.
- Flatt R. J. (1999) *Interparticle Forces and Superplasticizers in Cement Suspensions*. PhD Thesis No 2040, EPFL, Lausanne, Switzerland. Available at: https://www.researchgate.net/publication/37412786_Interparticle_Forces_and_Superplasticizers_in_Cement_Suspensions.
- Flatt R. J. (2004) Dispersion Forces in Cement Suspensions. *Cement and Concrete Research*, 34 (3), 399–408. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2003.08.019>.
- Flatt R. J. (2004) Towards a Prediction of Superplasticized Concrete Rheology. *Materials and Structures*, 37 (269), 289–300. <https://doi.org/10.1617/14088>.
- Schmidt M., Slowik V. (2013) Capillary Pressure-Controlled Concrete Curing in Pavement Construction. *Proceedings of 2013 Airfield and Highway Pavement Conference. June 9–12, 2013, Los Angeles, California, USA*. American Society of Civil Engineers, 295–306. <https://doi.org/10.1061/9780784413005.023>.
- Schmidt M., Slowik V. (2013) Instrumentation for Optimizing Concrete Curing. *Concrete International*, 35 (8), 60–64.
- Slowik V., Schmidt M., Kässler D., Eiserbeck M. (2014) Capillary Pressure Monitoring in Plastic Concrete for Controlling Early-Age Shrinkage Cracking. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2441 (1), 1–5. <https://doi.org/10.3141/2441-01>.
- Irwin G. R. (1957) Analysis of Stresses and Strains Near the End of a Crack Traversing Plate. *Journal of Applied Mechanics*, 24 (3), 361–364.
- Sih G. C. (1973) *Handbook of Stress Intensity Factors. Vol. 1*. Bethlehem, Lehigh University Press. 420.
- Cherepanov G. P. (1974) *Mechanics of Fragile Destruction*. Moscow, Nauka Publ., 1974. 640 (in Russian).
- Panasyuk V. V. (1968) *Extreme Balance of Brittle Bodies with Cracks*. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1968. 246 (in Russian).
- Panasyuk V. V., Savruk L. S., Datsyshin A. P. (1976) *Distribution of Tension About Cracks in Plates and Covers*. Kiev, Naukova Dumka Publ. 246 (in Russian).
- Savruk M. P. (1981) *Two-Dimensional Problems of Elasticity for Bodies with Cracks*. Kiev, Naukova Dumka. 324 (in Russian).
- Savruk M. P. (1988) *Coefficients of Intensity of Tension in Bodies with Cracks*. Kiev, Naukova Dumka. 620 (in Russian).
- Tada H., Paris P. C., Irwin G. R. (1973) *The Stress Analysis of Cracks*. Hellrtown, Del Research Corp. 385.
- Hartranft R. J., Sih G. C. (1973) Alternating Method Applied to Edge and Surface Crack Problems. *Methods of Analysis and Solutions of Crack Problems*. Leyden, Noord Hoff INTERN. Publ., 179–238. https://doi.org/10.1007/978-94-017-2260-5_4.

Received: 10.03.2017

Accepted: 12.05.2017

Published online: 27.07.2018

О долговечности твердых строительных материалов

Докт. техн. наук, проф. С. Н. Осипов¹⁾, асп. А. В. Захаренко¹⁾, Д. А. Поздняков¹⁾

¹⁾ГП «Институт жилища – НИПТИС имени Атаева С. С.» (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2018
Belarusian National Technical University, 2018

Реферат. Надежное прогнозирование долговечности твердых строительных материалов, особенно бетона и железобетона, является сложной научно-технической проблемой, которая описывается во многих научных работах. Однако до сих пор эта задача не имеет надежного аналитического решения с необходимой статистической мерой реализации. В статье приведен краткий анализ современных представлений о процессах разрушения твердых строительных материалов, в том числе бетона и железобетона, как под действием силовых (в частности, на основании временной зависимости прочности при статической нагрузке), так и несиловых факторов, в том числе карбонизации и уменьшения водородного показателя. Описаны особенности снижения прочности строительных пород во времени при действии процессов ползучести (пластичности). Представлены два варианта оценки возможной долговечности: без исходной поврежденности и с имеющимися исходными дефектами. При первом варианте распределение испытываемых образцов материала по долговечности примерно соответствует логнормальному закону, а при втором – более сложному закону. Приведены уровни показателей карбонизации и водородного показателя, при которых коррозия стальной арматуры не происходит. Установлена необходимость учета в теории прочности твердых строительных материалов не только характеристик и особенностей их структуры, но и статистических закономерностей, так как сам процесс разрушения представляет собой интегральное явление, в связи с чем конечный результат может изменяться в зависимости от случайных величин имеющихся дефектов структуры, погрешностей испытаний и других факторов. Причем вероятность их возможных сочетаний также описывается законами статистики. Показано, что для повышения надежности вероятностно-статистических методов расчета долговечности желательно учитывать максимальное количество подобных факторов.

Ключевые слова: твердый материал, разрушение, долговечность, ползучесть материала, карбонизация, расчет долговечности, статистические характеристики

Для цитирования: Осипов, С. Н. О долговечности твердых строительных материалов / С. Н. Осипов, А. В. Захаренко, Д. А. Поздняков // *Наука и техника*. 2018. Т. 17, № 4. С. 278–287. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-4-278-287>

On Longevity of Solid Construction Materials

S. N. Osipov¹⁾, A. V. Zakharenko¹⁾, D. A. Pozdnyakov¹⁾

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

Abstract. Reliable forecasting of longevity for solid construction materials, especially for concrete and reinforced concrete is considered as a rather complicated scientific and technical problem which is often described in a great number of research papers. However this problem does not have a reliable analytical solution with the required statistical realization level. The paper contains a brief analysis of modern views pertaining to breakage processes in solid construction materials including concrete and reinforced concrete due to action of force (in particular, on the basis of temporary strength dependence with a static load) and non-force factors comprising as well carbonization and decrease of hydrogen index. Peculiar features concerning strength decrease of construction materials in time due to action of creep processes (plasticity) have been described in the paper. The paper presents two variants for assessment of possible longevity: without initial damage and with

Адрес для переписки

Осипов Сергей Николаевич
ГП «Институт жилища – НИПТИС имени Атаева С. С.»
ул. Ф. Скорины, 156,
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

available initial defects. According to the first variant distribution of the test specimens of material for longevity corresponds to a lognormal law and in the second variant the distribution follows more complicated law. The paper provides levels of carbonization indices and a hydrogen index when corrosion of steel reinforcement does not occur. The following necessity has been established that is recommended to take into account not only characteristics and specific features in structure of solid construction materials in their strength theory but also statistical regularities because the breakage process represents in itself an integral phenomenon and due to this the final result can change according to random values of available structural defects, test errors and other factors. In this connection probability of their possible combinations has been described with the help of statistical laws. It has been shown that it is desirable to pay due consideration to maximum number of similar factors in order to increase a reliability of probabilistic-statistical methods for calculation of longevity.

Keywords: solid material, breakage, longevity, creep of material, carbonization, calculation of longevity, statistical characteristics

For citation: Osipov S. N., Zakharenko A. V., Pozdnyakov D. A. (2018) On Longevity of Solid Construction Materials. *Science and Technique*. 17 (4), 278–287. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-4-278-287> (in Russian)

Предельная физическая долговечность зданий, в том числе жилых, в принципе, определяется долговечностью природных и искусственных твердых строительных материалов (щебень и гравий различной крупности; плиты и другие формы строительных элементов из относительно прочных пород; кирпичи и блоки разного размера и технологии изготовления; бетон и железобетон и т. п.) и сталей (строительные конструкции и арматура), из которых изготавливаются несущие конструкции, особенно не предназначенные к замене.

В основе долговечности твердых строительных материалов, элементов и конструкций лежит их прочность, обеспечивающая надежную безопасность эксплуатации зданий и сооружений. Как отмечают В. Р. Регель, А. И. Слуцкер и Э. Е. Томашевский в [1], «согласно А. А. Гриффиту (1921 г.) разрыв идеально упругих тел считался возможным, если количество упругой энергии, освобождающейся при росте трещин разрушения, было достаточным, чтобы компенсировать затраты энергии на образование новой поверхности разрыва». Таким представляется механизм разрушения твердого тела с чисто механического, статического подхода к проблеме с позиции механики сплошных сред или при учете атомно-молекулярного строения [1, с. 8–10].

Предпосылкой для формирования кинетической основы разрушения послужили как общетеоретические соображения, так и результаты работ по изучению деформационных свойств твердых тел (ползучести) и релаксационных явлений [1, с. 11–13]. Временная зависимость прочности при статической нагрузке наблюдалась многими исследователями и прак-

тиками. Так, Е. Орован предложил объяснение зависимости прочности стекла от времени воздействия нагрузки, основанное на допущении существования гриффитовых трещин, образовавшихся за счет химических изменений на поверхности при сорбции влаги из воздуха поверхностью стекла. Влияние времени на прочность объясняется тем, что при медленном разрыве на поверхности растущей трещины успевает образоваться сорбционный слой, и прочность материала понижается. При этом временная зависимость прочности наблюдается как для малоустойчивых материалов, так и для стойких по отношению к окружающей среде [1, с. 14].

Без какого-либо внешнего несилового воздействия (газы, влажность, температура и т. п.) долговечность различных твердых тел, в том числе образцов из цемента (рис. 1), по крайней мере в течение 10–100 сут., заметно зависит от напряжений [1, с. 49–53]:

$$\tau = A \exp(-\alpha \sigma), \quad (1)$$

где τ – долговечность при постоянной (комнатной) температуре; A , α – постоянные коэффициенты; σ – величина разрывного напряжения.

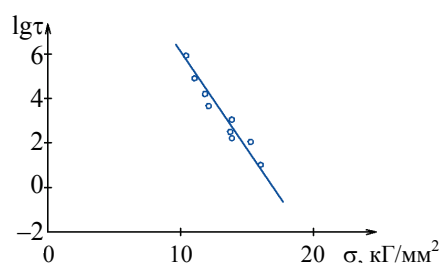


Рис. 1. Долговечность τ цементного камня в зависимости от напряжения σ [1, рис. 16]

Fig. 1. Longevity τ of cement stone according to stress σ [1, fig. 16]

Необходимо отметить, что разброс точек по шкале $\lg \tau$ при практически одинаковой величине напряжения ($\sigma \approx 15 \text{ кГ/мм}^2$, рис. 1) достигает одного порядка (10 раз). В [1, с. 52] отмечается, что разброс точек может достигать двух порядков величины долговечности, т. е. долговечность одинаковых образцов, испытываемых при одном и том же напряжении при идентичных условиях, может различаться в 100 раз. Для статистической проверки такого разброса значений прочности были проведены специальные опыты на одинаковых образцах (примерно по 100 шт. в серии), которые испытывались на долговечность при максимально тщательном поддержании постоянства условий эксперимента. По измеренным значениям для каждой серии строились кривые распределения образцов по долговечности (рис. 2), которые по $\lg \tau$ имеют симметричную форму, близкую к гауссовой. При данной форме кривой вероятный диапазон случайных изменений величин $\lg \tau$ зависит от величины заданной вероятности реализации. Таким образом, распределение плотности вероятности долговечности твердых тел под действием нагрузки близко к логарифмически-нормальному. Подобный характер распределения отмечает и К. А. Браунли [2, с. 36] в опытах по коррозии, согласно которым при сильной коррозии кривая распределения будет асимметричной, с длинным «хвостом» в сторону увеличения абсциссы. Такая асимметрия значительно уменьшается при логарифмировании.

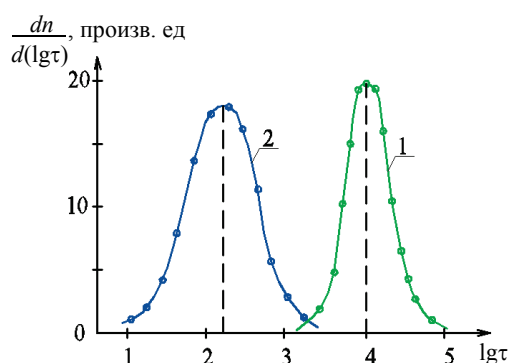


Рис. 2. Распределение образцов по долговечности [1, рис. 17]: 1 – алюминий (80 образцов); 2 – капрон (поликапроамид, 100 образцов); n – количество образцов

Fig. 2. Distribution of specimens according to longevity [1, fig. 17]: 1 – aluminium (80 specimens); 2 – capron (polycaproamide, 100 specimens); n – number of specimens

Логнормальное распределение встречается и при исследовании других характеристик твердых тел. Так, плотность распределения значений коэффициентов вариации прочности на одноосное сжатие групп образцов горных пород, приведенных в [3] (в количестве около 4500 образцов, сведенных в 486 групп), соответствует логнормальному распределению [4]. При этом плотность распределения результатов испытаний 6070 образцов горных пород на одноосное растяжение, сведенных в 405 групп [3], соответствует нормальному распределению (Гаусса) [4].

При расчете вероятности карбонизации железобетона, существенно определяющей его прочность, из используемых восьми вероятностных параметров для пяти рационально принять логнормальное распределение [5]. Такая же расчетная модель использована при расчете глубины и распространения фронта карбонизации в бетоне гидротехнических сооружений Хабаровского края [6].

Как показывает сопоставление кинетических характеристик процесса разрушения (долговечности τ) и деформирования (скорости установившейся ползучести $\dot{\epsilon}^*$) [1, с. 506], в результате опытов обнаружена тесная связь между величинами τ и $\dot{\epsilon}$, проявляющаяся в постоянстве их произведения:

$$\tau \dot{\epsilon} = \text{const.} \quad (2)$$

Исключения из этого правила относительно редки, но известно, что оно оказывается чувствительным к виду напряженного состояния.

Аналогичная зависимость приведена у С. С. Вялова [7, с. 285, 286]. Так, на стадии установившегося течения деформацию ползучести γ_c в любой момент времени τ можно выразить через скорость течения $\dot{\gamma}_c = \dot{\gamma}_\tau$. В момент разрушения $\tau = \tau_p$ деформация будет равна $\gamma_{c.p} = \bar{\gamma}_\tau$, что с учетом средней скорости течения дает

$$\bar{\gamma}_\tau = \text{const.}, \quad (3)$$

где $\bar{\gamma}$ – средняя скорость течения деформации ползучести.

* Ползучесть – пластическая деформация, происходящая при постоянных температуре и напряжении (нагрузке) в зависимости от времени (СТБ 1723–2007).

Приведенный в [7, рис. 9.18] сводный график зависимости между скоростью деформации ползучести и временем до разрушения, по данным для самых разных грунтов, свидетельствует о линейной зависимости $\gamma = f(\tau)$, которая может быть аппроксимирована выражением

$$\lg \tau_p = \lg C + b \lg \bar{\gamma}, \quad (4)$$

где C, b – константы уравнения.

Уравнение длительной прочности грунта в соответствии с [7, с. 324] можно записать в виде

$$\ln \frac{\tau_p}{T} = \frac{\sigma_0}{\sigma} \ln \left(\frac{1}{T} \right), \quad (5)$$

где σ_0 – условно-мгновенная прочность; σ – действующее напряжение, в общем случае переменное во времени – $\sigma = f(\tau)$; T – параметр, характеризующий соотношение неповрежденной площади сечения грунта в начальный момент и в момент разрушения.

При испытании 44 образцов цинка по долговечности [1, с. 164–167] получен иной вид функции распределения, приведенный на рис. 3 [1, рис. 49], у которого по сравнению с рис. 2 левая ветвь распределения с самого начала ($\tau > 0$) составляет существенную величину (около половины максимальной). Такой вид левой (начальной) ветви распределения объясняется степенью начальной поврежденности испытуемого материала и качеством изготовления образцов.

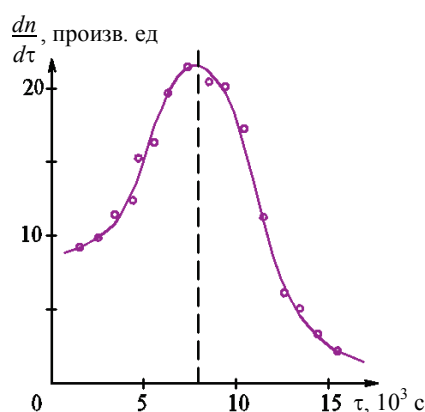


Рис. 3. Распределение образцов цинка (44 образца) по долговечности

Fig. 3. Distribution of zinc specimens (44 specimens) according to longevity

Показанную на рис. 3 функцию распределения величин долговечности, ввиду своеобразия формы, уже не представляется возможным приблизить к нормальному закону путем использования логарифмирования значений времени разрушения (как это получается с кривой на рис. 2.). Таким образом, при наличии существенной начальной поврежденности материала найти подходящую функцию распределения достаточно трудно.

Связь долговечности материала с уровнем его исходной поврежденности и напряженным состоянием рассматривается в [8], где приведено математическое описание такого процесса разрушения в зависимости от уровня номинального напряжения материала. В этой же статье рассмотрено изменение долговечности материала при повторном и ступенчатом нагружении. В приведенном в [8] примере величина исходной поврежденности образцов поликристаллического цинка в этой серии опытов достаточно велика и составляет примерно $\omega_0 = 0,218$.

Сравнение условий разрушения поликристаллического цинка, бетона и глины показывает [9], что с ростом пластичности материала требуется увеличение уровня поврежденности структуры. Так, для поликристаллического цинка [8] уровень начала интенсивного разрушения соответствует поврежденности структуры $\omega_0 \approx 0,20–0,22$. Для бетона [10, рис. 5.7] при общей пористости более 25–30 % потеря прочности наступает при $\omega_0 \geq 0,25–0,30$. Для каолиновой массы [7] разрушение может происходить уже при $\omega = 0,36$ (36 % поврежденности структуры), для юрской глины – при $\omega \geq 0,4$ (~40 %). Как следует из приведенных данных, с ростом пластичности для разрушения материала необходимо большее повреждение структуры.

При прогрессирующей деформации время выхода на лавинообразное разрушение образцов каолина заметно зависит от величины напряжения [9, рис. 5]. Использование шести значений из семи, приведенных в [7, табл. 10.1], дает зависимость вида

$$\lg \tau_p = a - b\sigma, \quad (6)$$

где a, b – эмпирические коэффициенты, $a \approx 9,34$; $b \approx 6,5$ при σ в кПа и τ в ч.

Эмпирическая зависимость (6) имеет весьма тесную корреляционную связь ($r = 0,99$). Необходимо отметить, что при увеличении напряжения каолина в 1,7 раза время перехода к разрушающей деформации уменьшается почти на три порядка. Следовательно, необходимо особенно осторожно оценивать устойчивость фундаментов зданий при каолиновых и аналогичных грунтах.

Среди горных пород есть большая группа, которая даже в справочнике [3, с. 241–247, 256–260, 265–270] отнесена к строительным материалам. К таковым относятся изверженные (базальты, гранодиориты, граниты и т. п.), метаморфические (мрамор, сланец и т. п.) и осадочные (песчаники, гипсы, известняки и т. п.) породы: всего около 320 разновидностей.

Многовековое ведение горных работ и использование горных пород для строительства обусловили изучение реологических свойств горного массива и слагающих его пород. Среди многочисленных научных работ этого направления особый интерес вызывает статья В. Т. Глушко, В. П. Чередниченко и Б. С. Усатенко [11]. Исследование ползучести горных пород Западного Донбасса, проведенное на 198 образцах 78 пород с максимальной продолжительностью до 9360 ч, показало [11, с. 56–84], что средняя величина отношения деформаций ползучести к условно-мгновенным деформациям для аргиллитов составляет 0,529, алевролитов – 0,427 и песчаников – 0,390.

Для количественного описания относительной величины деформации ползучести для больших моментов времени удобно пользоваться выражением М. И. Розовского [12, 13] в виде

$$\varepsilon(\tau) = \frac{\sigma}{E} \left[1 + \frac{\chi}{\beta - \chi} \left(1 - e^{-(\beta - \chi)(1 - \alpha)^{1 - \alpha} \tau} \right) \right], \quad (7)$$

где χ , β – параметры ползучести; α – параметр, численно равный 0,7; σ – нагрузка на образец; E – модуль упругости.

С увеличением напряжений в образцах меняется качественная картина деформационного процесса. При постоянных напряжениях выше предела длительной прочности через определенный промежуток времени образец горной породы разрушается [11, с. 67]. На кривых ползучести (рис. 4) в этом случае наблюдаются три стадии деформирования: затухающей, устано-

вившейся и прогрессирующей ползучести. При напряжениях, составляющих $(0,7-0,85)\sigma_{сж}$, породы с пределом прочности $\sigma = (14-35)$ МПа интенсивно деформируются на первой стадии ползучести в течение 1–25 ч. Здесь $\sigma_{сж}$ – предел прочности при условно-мгновенном сжатии. На втором участке кривая выполаживается. Напряжения, составляющие $(0,7-0,8)\sigma_{сж}$, вызывают разрушение образцов горных пород через 200–700 ч. Анализ показывает, что предел длительной прочности испытанных горных пород соответствует $(0,7-0,9)\sigma_{сж}$.

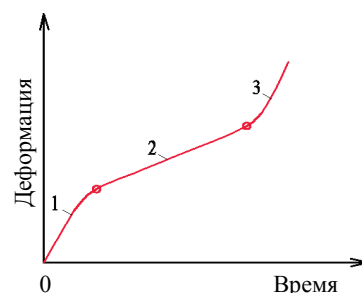


Рис. 4. Развитие деформаций во времени для ползучести: 1 – затухающей; 2 – установившейся; 3 – прогрессирующей

Fig. 4. Development of deformations in time for creep: 1 – decaying creep; 2 – steady-state creep; 3 – progressive creep

Уравнение длительной прочности [11, (III.28)] имеет вид

$$\sigma_{дл}(t) = \sigma_{сж} \sqrt{1 - \frac{\chi}{\beta} \left(1 - e^{-\beta \gamma t^{1-\alpha}} \right)}. \quad (8)$$

Предельное значение длительной прочности пород получено в [11, с. 78] из выражения (8) при $t \rightarrow \infty$

$$\sigma_{дл}^{пр} = \sigma_{сж} \sqrt{1 - \frac{\chi}{\beta}}. \quad (9)$$

Из (9) видно, что величина $\sigma_{дл}^{пр}$ зависит только от отношения параметров ползучести χ/β , т. е. от реологического показателя, который положен в основу классификации горных пород по реологическим свойствам, используемой для приближенного прогноза их поведения при нормальной температуре 20 °С в натурных условиях (табл. 1, аналогичная [11, с. 79] с замечной крепости по шкале М. М. Протодыяконова на МПа).

Таблица 1

Классификация строительных пород по реологическим свойствам
Classification of construction rocks according to rheological properties

Класс ползучести	Ориентировочная прочность на сжатие $\sigma_{сж}$, МПа	Реологический показатель χ/β	Степень ползучести (пластичности)	Предел длительной прочности $\sigma_{дл}/\sigma$
I	>100	<0,16	Весьма слабая	>0,92
II	50–100	0,16–0,25	Слабая	0,92–0,87
III	30–50	0,25–0,40	Средняя	0,87–0,77
IV	15–30	0,40–0,63	Сильная	0,77–0,61
V	<15	0,63–1,0	Весьма сильная	<0,61

По данным табл. 1 на рис. 5 приведена гистограмма зависимости относительного уменьшения прочности строительных пород от их прочности на условно-мгновенное (очень быстрое) сжатие, из которой наглядно видно уменьшение влияния времени на потерю прочности с ростом прочности пород. Доказательством этому могут служить многочисленные каменные дома и замки Европы, построенные 500 и даже 1000 лет назад. Похожей долговечностью обладают крепостные стены и башни России, возведенные из высококачественного обожженного кирпича на таком же растворе более 500 лет назад (Смоленская крепость и Кремль).

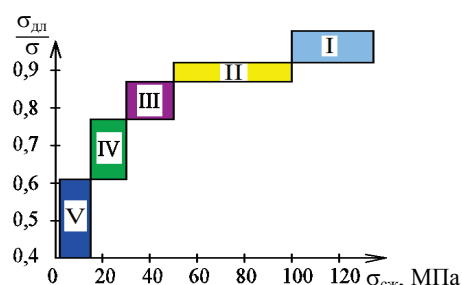


Рис. 5. Влияние природной условно-мгновенной прочности пород на сжатие на величину длительной прочности: I – весьма слабая степень ползучести; II – слабая степень ползучести;

III – средняя степень ползучести; IV – сильная степень ползучести; V – весьма сильная степень ползучести

Fig. 5. Influence of structural nominal and instantaneous rock strength on compression under value of long-term strength: I – rather poor degree of creep; II – poor degree of creep; III – medium degree of creep; IV – strong degree of creep; V – rather strong degree of creep

Интересная аналогия наблюдается (рис. 6) между кривыми длительной прочности ($\sigma_{дл}/\sigma$) некоторых горных пород [11, с. 73, рис. 26] и коэффициентами интенсивности напряжений

на отрыв ($K_I = \sigma\sqrt{\pi l}$ [14]) на берегах трещин в твердом материале, прекрасно использованными в [10, с. 69, с. 93, рис. 3.28 и с. 103, рис. 4.1] для зависимостей ($K_{Ic}(\tau)/K_{Ic}(28)$) и $K_{Ic}(\tau)$ при 20 °C. Необходимо заметить, что на рис. 6 кривые длительной прочности пород (1 и 2), характеризующихся прочностью на сжатие в диапазоне 15–90 МПа, что примерно соответствует прочности бетона, проведены только до $\tau \approx 100$ сут., а расчетные кривые для бетона 3, 4 и 5 – до 400 и 18250 сут. (~50 лет), хотя экспериментальные точки (K_I) соответствуют примерно девяти годам. Следует отметить, что изменение прочности и трещиностойкости (которая является основной причиной разрушения бетона) во времени после 28 сут. (рис. 6, кривые 3–5) имеет противоположные направления [10, с. 57, рис. 3.1]. При этом скорость уменьшения трещиностойкости превышает увеличение прочности во времени.

Как сказано в учебнике Ю. М. Баженова, «в настоящее время еще не разработаны способы, которые позволяли бы надежно определять глубину разрушения бетона при коррозии на основе данных о его составе и условий агрессивного воздействия» [15, с. 180]. По-видимому, здесь ключевым является понятие «надежно», чего не удалось достичь за последние 15 лет ([15] было издано в 2002 г.) до настоящего времени. Так, до сих пор нет практических методик расчета вероятностных характеристик теоретического прогноза глубины разрушения бетона во времени ни для одного из трех видов возможной коррозии бетона [15, с. 170]. Уменьшение прочности строительных материалов во времени необходимо учитывать при оценке надежности строительных элементов и конструкций, что зачастую производится не в полной мере.

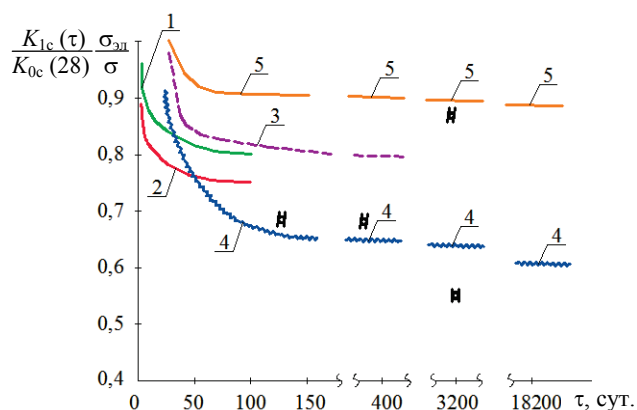


Рис. 6. Влияние времени на относительную прочность пород и трещиностойкость бетона: 1 – алевролит; 2 – аргиллит; 3 – расчетная величина относительной ($K_{Ic}(\tau)/K_{Ic}(28)$) интенсивности напряжений на отрыв; 4, 5 – расчетные величины (линии) и экспериментальные точки (β) изменения относительной интенсивности напряжений на отрыв во времени

Fig. 6. Influence of time on relative strength of rocks and concrete crack resistance: 1 – aleurolite; 2 – argillite; 3 – calculation value of relative ($K_{Ic}(\tau)/K_{Ic}(28)$) intensity for discontinuity stresses; 4, 5 – calculation values (lines) and extreme points (β) for changing relative intensity of discontinuity stresses in time

Для прогнозирования глубины разрушения бетона в диффузионный период [15, с. 181], что чаще встречается на практике, рекомендуется использовать выражение

$$h = \frac{k\sqrt{\tau} - a}{\Pi P}, \quad (10)$$

где $k = (P_1 - P_2)/(\sqrt{\tau_1} - \sqrt{\tau_2})$; P_i , $\sqrt{\tau_i}$ – координаты двух точек на опытной кривой коррозии, построенной в координатах $P = f\sqrt{\tau}$; $a = k\sqrt{\tau_1} - P_1$; Π – расход цемента в бетоне; P – содержание СаО в цементе (по данным химического анализа).

Из (10) легко определить долговечность τ при известной предельно допустимой глубине разрушения бетона.

В случае диффузионно-кинетического механизма переноса веществ ориентировочная глубина коррозии линейно зависит от времени [15, с. 184, (8.5)]. Следует отметить, что бетон обладает ползучестью, которая явно зависит от перечисленных в [15, с. 159] 11 факторов, в том числе пяти факторов, существенно

влияющих на меру ползучести [15, рис. 6.6]. При этом диапазон возможного изменения меры ползучести составляет от полутора до пяти раз, в зависимости от времени. Деформации ползучести во времени постепенно затухают, но иногда наблюдаются у бетона в возрасте одного года и более, что аналогично строительным породам [3, 11].

Для сохранения пассивности стали (арматуры) в бетоне необходим ее постоянный контакт с поровой жидкостью, щелочность которой должна иметь водородный показатель $pH \geq 11,8$ [15, с. 183]. В затвердевшем за 28 сут бетоне начальное $pH \approx 12,0-12,5$, что больше, чем критическое значение $pH \geq 11,8$.

Как отмечает Ю. М. Баженов [15, с. 121], теория прочности бетона должна учитывать не только структуру материала, но и статистические закономерности, так как разрушение есть интегральное явление, и конечный результат может изменяться в зависимости от сочетания дефектов структуры, погрешностей испытаний и других факторов, а вероятность тех или иных возможных сочетаний описывается законами статистики. Поэтому описание поведения бетона при нагружении и во времени обусловлено рядом структурных и статистических факторов. При этом для оценки глубины разрушения бетона в диффузионный период влияние времени используется в виде $\sqrt{\tau}$ [15, с. 181], а при диффузионно-кинетическом механизме – прямо пропорционально времени.

Особый интерес для рассматриваемой проблемы представляет статья С. Н. Леоновича [10], в которой в качестве основных исходных научных положений использованы работы А. А. Гриффитса и формулы Л. П. Черепанова [14] и В. В. Панасюка [16] для коэффициентов интенсивности напряжений на берегах трещины при нормальном отрыве и поперечном сдвиге. В результате сложных исследований предложена методика расчета долговечности и несущей способности эксплуатируемых и опытных железобетонных конструкций [10, с. 226–243]. Также предложены три категории долговечности бетона (А – 25–50 лет; В – 50–65 лет и С – 65–75 лет), которые соответствуют определенным интервалам значений аналитических параметров критической трещиностойкости K_{Ic} и K_{IIc} в виде $K_c = \sqrt{K_{Ic}^2 + K_{IIc}^2}$ [10, с. 106, табл. 4.4].

Однако в [10] нет каких-либо статистических характеристик многочисленных факторов (более 10), которые учитываются при расчете долговечности железобетона. Поэтому приведенные величины долговечности охватывают только какую-то часть реально возможных показателей.

В дальнейшем С. Н. Леонович и О. Ю. Чернякевич, используя результаты западноевропейских исследований, предложили схему расчета срока службы железобетонных конструкций в условиях коррозии карбонизации с учетом индексов надежности или вероятностей отказов в зависимости от необходимого класса надежности конструкции [17, 18]. Однако практическое статистическое подтверждение надежности такой схемы расчета долговечности отсутствует.

Уникальная расчетная модель и соответствующие ей компьютерные программы для количественной оценки свойств бетона и железобетона, в том числе условий разрушения и долговечности, разработаны В. В. Бабицким [19–21]. При этом в модели учтено влияние около 40 факторов, что удалось сделать на базе исследований многих известных ученых. Не имея из-за ограниченности объема статьи возможности описать особенности данной модели, необходимо отметить отсутствие статистических характеристик как отдельных факторов, так и всей модели.

Большой интерес представляет практическое пособие Т. М. Пецольда, В. П. Богданова, В. В. Бабицкого, А. А. Васильева и С. В. Дзирко [22], в котором рассматриваются критерии оценки технического состояния железобетонных конструкций по условиям эксплуатации [22, табл. 5.2, 5.3]. При этом предложена балльность степени коррозии арматуры [22, табл. 5.1, рис. 5.1], из которой следует, что рост карбонатной составляющей K_c сопровождается уменьшением показателя щелочности поровой жидкости бетона, при величине которой $pH \geq 11,8$ [15, с. 183] коррозии стальной арматуры не происходит. Авторы [22, с. 82] утверждают, что при содержании карбонатной составляющей (K_c) от 6,8 до 12,5 % стальная арматура не корродирует, и это соответствует II баллу, при котором pH уменьшается до 11. В целом [22] представляет большой интерес для анализа и обобщения проблемы долговечности бетона и железобетона.

Следует заметить, что в [22, с. 11] отмечена разница в эффективных коэффициентах диффузии CO_2 (D') в бетонах, которая достигает двух порядков. При этом близкие по составу бетоны имеют значительно различающийся D' . Установленные эмпирические зависимости эффективного коэффициента диффузии CO_2 от водоцементного отношения, вида цемента и его расхода, условий твердения бетона и эксплуатации конструкций позволяют лишь весьма ориентировочно оценить длительность защитного действия бетона.

В работе В. Г. Пастушкова [23] уравнение для расчета долговечности железобетона имеет вид системы коэффициентов, отражающих влияющие факторы:

$$D = D_0 K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_6 K_7, \quad (11)$$

где D_0 – эталон долговечности, принимаемый равным 60 годам; K_1 – K_7 – коэффициенты, имеющие значения от 0,095 до 4,480, в результате чего долговечность железобетона автомобильных мостов в условиях Беларуси может составлять от 5,7 до 269 лет, т. е. изменяться в пределах около 1,5 порядков.

Однако оценка статистических характеристик используемых факторов также отсутствует. Следует отметить, что влияние времени на интенсивность разрушения бетона оценивается по-разному. Так, Е. П. Матвеев указывает [24, с. 91], что интенсивность разрушения бетона при появлении первых признаков возрастает по зависимости, пропорциональной квадрату времени.

Анализ приведенных методов оценки долговечности твердых строительных материалов, особенно бетона и железобетона, свидетельствует о сложности таких расчетных многофакторных комплексов. Среди приведенных методов наилучшее впечатление своей полнотой производит предложение В. В. Бабицкого [19–21]. Однако ни в одном из методов расчета не учитываются статистические характеристики надежности определения величин используемых факторов и их совместное влияние на итоговую величину.

Определенное влияние на долговечность бетона и железобетона оказывает пластичность (ползучесть) [25, с. 447–452]. Показано [25, с. 452], что к концу заданного срока службы сооружения вследствие ползучести бетона напряжения в арматуре колонны могут

увеличиваться на 50 %, а в бетоне уменьшаться на 25 %.

В статье О. Ю. Чернякевича и С. Н. Леоновича [26], являющейся продолжением [17, 18], на основе расчета изменения толщины защитного слоя бетона при карбонизации обосновывается проектная долговечность железобетонных конструкций. При этом предельные отклонения $\pm\Delta a$ защитного слоя составляют примерно 50–100 % от величины номинального размера a [26, табл. 1]. Поэтому возможные значения $((a + \Delta a)/(a - \Delta a))$ толщины защитного слоя могут различаться в три и более раза при отсутствии оценки вероятности реализации. Становится понятной рекомендация Ю. М. Баженова [15, с. 181] прогнозировать толщину защитного слоя по результатам экспериментов в течение относительно короткого времени.

ВЫВОДЫ

1. Разработка надежного метода расчета долговечности твердых строительных материалов, особенно бетона и железобетона, является сложной научно-технической проблемой.

2. Для надежной оценки долговечности бетона и железобетона следует использовать метод расчета, учитывающий наибольшее количество факторов.

3. Необходимо продолжать исследования в направлении оценки статистических характеристик как отдельных факторов, так и результатов расчета долговечности твердых строительных материалов в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Регель, В. Р. Кинетическая природа прочности твердых тел / В. Р. Регель, А. И. Слуцкер, Э. Е. Томашевский. М.: Наука, 1974. 560 с.
2. Браунли, К. А. Статистические исследования в производстве / К. А. Браунли; пер. с англ. В. А. Говоркова; под ред. А. Н. Колмогорова. М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1949. 228 с.
3. Справочник (кадастр) физических свойств горных пород / О. П. Якобавили [и др.]; под ред. Н. В. Мельникова [и др.]. М.: Недра, 1975. 279 с.
4. Осипов, С. Н. О распределении значений коэффициентов вариации прочности групп образцов горных пород / С. Н. Осипов, Е. А. Смычкин, Р. Г. Шваб // Горная механика и машиностроение. 2013. № 2. С. 52–62.
5. Леонович, С. Н. Вероятностная модель карбонизации железобетонных конструкций / С. Н. Леонович, О. Ю. Чернякевич // Наука и техника. 2012. № 5. С. 58–64.
6. Шалый, Е. Е. Вероятностный расчет глубины и распространения фронта карбонизации в бетоне гидро-

- технических сооружений Хабаровского края / Е. Е. Шалый, Л. В. Ким, С. Н. Леонович // Инновации в бетоне, строительстве, производстве и подготовке инженерных кадров: материалы Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения И. Н. Ахвердова и С. С. Атаева, 9–10 июня 2016 г., в 2 ч. / редкол.: Э. И. Батыновский, В. В. Бабицкий. Минск, 2016. Ч. 1. С. 243–247.
7. Вялов, С. С. Реологические основы механики грунтов / С. С. Вялов. М.: Высш. шк., 1978. 447 с.
 8. Холодарь, Б. Г. Связь долговечности материала с уровнем его исходной поврежденности / Б. Г. Холодарь // Вестник БрГТУ. Сер. Строительство и архитектура. 2006. № 1. С. 40–45.
 9. Осипов, С. Н. О стохастической надежности оценки прочностных свойств строительных материалов и конструкций / С. Н. Осипов // Вестник БрГТУ. Сер. Строительство и архитектура. 2007. № 1. С. 93–98.
 10. Леонович, С. Н. Трещиностойкость и долговечность бетонных и железобетонных элементов в терминах силовых и энергетических критериев механики разрушения / С. Н. Леонович. Минск: Ред. журнала «Тыдзень», 1999. 263 с.
 11. Глушко, В. Т. Реология горного массива / В. Т. Глушко, В. П. Чердиченко, Б. С. Усатенко. Киев: Наук. думка, 1981. 171 с.
 12. Розовский, М. И. Ползучесть и длительное разрушение материалов / М. И. Розовский // Журнал технической физики. 1951. № 11. С. 76–80.
 13. Розовский, М. И. Обработка кривых ползучести на основе интегральных уравнений / М. И. Розовский // Известия вузов. Машиностроение. 1960. № 3. С. 49–54.
 14. Черепанов, Г. П. Механика хрупкого разрушения / Г. П. Черепанов. М.: Наука, 1974. 640 с.
 15. Баженов, Ю. М. Технология бетона / Ю. М. Баженов. М.: Изд-во Ассоц. строит. вузов, 2002. 499 с.
 16. Панасюк, В. В. Предельное равновесие хрупких тел с трещинами / В. В. Панасюк. Киев: Наук. думка, 1968. 246 с.
 17. Чернякевич, О. Ю. Долговечность железобетонных конструкций в условиях коррозии карбонизации в бетоне без трещин / О. Ю. Чернякевич, С. Н. Леонович. Минск: Стринко, 2007. С. 316–326.
 18. Чернякевич, О. Ю. Расчет срока службы железобетонных конструкций в условиях коррозии карбонизации / О. Ю. Чернякевич, С. Н. Леонович // Перспективы развития новых технологий в строительстве: сб. науч. статей. Гродно: ГрГУ, 2010. С. 369–375.
 19. Бабицкий, В. В. Автоматизация расчетов основных технологических параметров при производстве сборного железобетона / В. В. Бабицкий. Минск: БГПА, 1997. С. 153.
 20. Бабицкий, В. В. Метод прогнозирования коррозионного состояния стальной арматуры железобетона / В. В. Бабицкий, С. Н. Ковшар // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F, Строительство. Прикладные науки. 2016. № 8. С. 33–37.
 21. Бабицкий, В. В. Структура и коррозионная стойкость бетона и железобетона / В. В. Бабицкий // Строительная наука и техника. 2005. № 2. С. 33–38.
 22. Неразрушающие методы оценки и прогнозирования технического состояния железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в воздушных средах / Т. М. Пецольд [и др.]. Гомель: БелГУТ, 2007. 145 с.

23. Пастушков, В. Г. Напряженно-деформированное состояние и долговечность конструкции проезжей части транспортных сооружений / В. Г. Пастушков. Минск, 2007. 21 с.
24. Матвеев, Е. П. Реконструкция жилых зданий / Е. П. Матвеев. М., 1999. Ч. 1: Теория, методы и технологии реконструкции жилых зданий. 367 с.
25. Справочник по сопротивлению материалов / Е. Ф. Винокуров [и др.]. Минск: Наука и техника, 1988. 463 с.
26. 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.

Поступила 28.04.2017

Подписана в печать 04.07.2017

Опубликована онлайн 27.07.2018

REFERENCES

1. Regel V. R., Slutsker A. I., Tomashevsky E. E. (1974) *Kinetic Nature of Solid Bodies Strength*. Moscow, Nauka Publ. 560 (in Russian).
2. Brownlee K. A. (1947) *Industrial Experimentation*. NY, Chemical Publishing Co., Inc. 151.
3. Yakobashvili O. P., Levushkin L. N., Osipenko N. M., Protod'yakonov M. M., Teder R. I., Il'nitskaya E. I., Mel'nikov N. V. (ed.), Rzhetskii V. V. (ed.) (1975) *Reference Book (Inventory) for Physical Properties of Rock Formations*. Moscow, Nedra Publ. 279 (in Russian).
4. Osipov S. N., Smychkin E. A., Shvab R. G. (2013) On Distribution of Coefficient Values in Variations of Strength for Groups of Rock Formation Specimens. *Gornaya Mekhanika i Mashinostroyeniye = Mining Mechanical Engineering and Mechanical Engineering*, (2), 52–62 (in Russian).
5. Leonovich S. N., Tchernyakevich O. Yu. Probability Model for Carbonization of Reinforced-Concrete Structures. *Nauka i Tekhnika = Science and Technique*, (5), 58–64 (in Russian).
6. Shaly E. E., Kim L. V., Leonovich S. N. (2016) Probability Calculation of Depth and Distribution of Carbonization Front in Concrete of Hydraulic Engineering Installations on the Khabarovsk Territory. *Innovatsii v Betonovedenii, Stroitel'nom Proizvodstve i Podgotovke Inzhenernykh Kadrov: Materialy Mezhdunar. Nauch.-Tekhn. Konf., Posvyashch. 100-letiyu so Dnya Rozhdeniya I. N. Akhverdova i S. S. Ataeva, 9–10 Iyunya 2016 g. Ch. I* [Innovations in Concrete Science, Construction Production and Training of Engineering Personnel: Proceedings of International Scientific and Technical Conference Dedicated to the 100th Birthday Anniversary of I. N. Akhverdov and S. S. Ataev, June 9–10, 2016. Part. 1]. Minsk, 243–247 (in Russian).
7. Vyalov S. S. (1978) *Rheological Fundamentals of Soil Mechanics*. Moscow, Vysshaya Shkola Publ. 447 (in Russian).
8. Kholodar B. G. (2006) Relations of Material Longevity with the Level of its Initial Damage. *Vestnik Brestskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta. Ser. Stroitel'stvo i Arkhitektura* [Bulletin of Brest State Technical University. Construction and Architecture], (1), 40–45 (in Russian).
9. Osipov S. N. (2007) On Stochastic Reliability for Evaluation of Strength Properties in Construction Materials and Structures. *Vestnik Brestskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta. Ser. Stroitel'stvo i Arkhitektura* [Bulletin of Brest State Technical University. Construction and Architecture], (1), 93–98 (in Russian).
10. Leonovich S. N. (1999) *Crack Resistance and Longevity of Concrete and Reinforced Concrete Elements in Terms of Force and Energy Criteria for Fracture Mechanics*. Minsk, Editorial Board of Journal "Tydzhen". 263 (in Russian).
11. Glushko V. T., Tcherednichenko V. P., Usatenko B. S. (1981) *Rheology of Mining Rock Massif*. Kiev, Naukova Dumka Publ. 171 p.
12. Rozovsky M. I. (1951) Creep and Delayed Fracture of Materials. *Zhurnal Tekhnicheskoy Fiziki = Journal of Applied Physics*, (11), 76–80 (in Russian).
13. Rozovsky M. I. (1960) Processing of Creep Curves on the Basis of Integral Equations. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Mashinostroyeniye = Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, (3), 49–54 (in Russian).
14. Tcherpanov G. P. (1974) *Mechanics of Brittle Fracture*. Moscow, Nauka Publ. 640 (in Russian).
15. Bazhenov Yu. M. (2002) *Technology of Concrete*. Moscow, Publishing House of Association of Educational Civil Engineering Institutions. 499 (in Russian).
16. Panasiuk V. V. (1968) *Limit Equilibrium of Brittle Solids with Cracks*. Kiev, Naukova Dumka Publ. 246 (in Russian).
17. Tcherniakevich O. Yu., Leonovich S. N. (2007) *Longevity of Reinforced Structures under Conditions of Carbonization Corrosion in Concrete Without Cracks*. Minsk, Strinko Publ., 316–326 (in Russian).
18. Tcherniakevich O. Yu., Leonovich S. N. (2010) Calculation of Service life for Reinforced-Concrete Structures under Conditions of Carbonization Corrosion. *Perspektivy Razvitiya Novykh Tekhnologii v Stroitel'stve: Sb. Nauch. Statei* [Prospects for Development of New Technologies in Construction: Collection of Scientific Papers]. Grodno, Publishing House of Grodno State University, 369–375 (in Russian).
19. Babitsky V. V. (1997) *Automation in Calculation of Main Technological Parameters while Producing Precast Reinforced Concrete*. Minsk, Belarussian State Polytechnical Academy. 153 (in Russian).
20. Babitsky V. V., Kovshar S. N. (2016) Elements of Forecasting of the Corrosion Condition of the Iron Fittings of Ferro-Concrete. *Vestnik Polotskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya F, Stroitel'stvo. Prikladnye Nauki = Vestnik of Polotsk State University. Part F. Constructions. Applied Sciences*, (8), 33–37 (in Russian).
21. Babitsky V. V. (2005) Structure and Corrosion Resistance in Concrete and Reinforced Concrete. *Stroitel'naya Nauka i Tekhnika* [Construction Science and Engineering], (2), 33–38 (in Russian).
22. Petsol'd T. M., Babitskii V. V., Bogdanov V. P., Vasil'ev A. A., Dzirkov S. V. (2007) *Nondestructive Methods for Evaluation and Forecasting of Technical State in Reinforced Structures Being Used in Air Environment*. Gomel, Belarussian State University of Transport. 145 (in Russian).
23. Pastushkov V. G. (2007) *Stress and Deformed State and Longevity of Structures in Traffic Area of Transport Facilities*. Minsk. 21 (in Russian).
24. Matveev E. P. (1999) *Reconstruction of Residential Buildings. Part 1: Theory, Methods and Technologies for Reconstruction of Residential Buildings*. Moscow. 367 (in Russian).
25. Vinokurov E. F., Balykin M. K., Golubev I. A., Zayats V. N., Makaruk P. N. (1988) *Reference Book for Material Resistance*. Minsk, Nauka i Tekhnika. 463 (in Russian).
26. Tcherniakevich O. Yu., Leonovich S. N. (2016) Concrete Mix Design for Structures Subjected to Exposure Class XC1 Depending on Concrete Cover *Nauka i Tekhnika = Science and Technique*, 15 (6), 460–468 <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2016-15-6-460-468> (in Russian).

Received: 28.04.2017

Accepted: 04.07.2017

Published online: 27.07.2018

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-4-288-291>

УДК 511.2; 528.9

Изучение солигорских солеотвалов с помощью новейших геодезических технологий

Канд. геогр. наук, доц. В. И. Михайлов¹⁾, инженеры С. И. Кононович²⁾, Ю. Н. Чиберкус²⁾,
А. О. Воронович¹⁾

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

²⁾ЗАО «Экомир» (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2018
Belarusian National Technical University, 2018

Реферат. Интенсивная разработка Старобинского месторождения связана с образованием солеотвалов, которые увеличиваются ежегодно и достигли уже 120–150 м в высоту, 1,5 млрд т в объеме, занимают площадь ≈3000 га. Это приводит к активизации геодинамических процессов, засолению грунтов и подземных вод. Поэтому изучение солеотвалов с помощью новейших геодезических технологий – один из наиболее эффективных методов по охране окружающей среды. Геодезические инновационные технологии изучения рельефа солеотвала включают: создание с помощью GPS-системы планового и высотного обоснования по его периметру и на трассе перемещения техники по солеотвалу; экспериментальные изучения рельефа солеотвала электронным тахеометром с безотражательным режимом; импорт координат пикетных точек в программный комплекс LISCAD Plus, в котором формируется цифровая модель солеотвала; изучение цифровой модели солеотвала и ее интерпретация. Более точный способ изучения солевых отвалов – лазерное сканирование сканером Leica ScanStation C10. Для получения данных о солеотвале выполняются операции с нескольких станций, обеспечивающих полный его обзор. Результаты съемки вводятся в компьютер, «сшиваются», и таким образом получается цифровая модель солеотвала. Преимущество лазерного сканирования – полная автоматизация, существенно возрастает точность, сокращается время съемки. Это позволяет повысить эффективность различных мероприятий по улучшению состояния окружающей среды.

Ключевые слова: солеотвал, система GPS, электронный тахеометр, лазерный сканер, программный комплекс LISCAD Plus SEE

Для цитирования: Изучение солигорских солеотвалов с помощью новейших геодезических технологий / В. И. Михайлов [и др.] // *Наука и техника*. 2018. Т. 17, № 4. С. 288–291. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-4-288-291>

Study of Soligorsk Salt Tailings Piles while Using Up-To-Date Geodetic Technologies

V. I. Mikhailov¹⁾, S. I. Kononovich²⁾, Yu. N. Chiberkus²⁾, A. O. Voronovich¹⁾

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

²⁾ZAO “Ecomir” (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. Intensive development of the Starobinsk deposit is related with formation of salt tailings piles which are annually increasing and they have already reached the height of 120–150 m, their volume constitutes 1.5 billion tons and their area is equal up to ≈3000 ha. Such situation leads to activation of geodynamic processes, salting of soil and underground water. For this reason study of salt tailings piles with the help of up-to-date geodetic technologies is considered as the most efficient methods for environmental protection. Geodetic innovation technologies for study of salt tailings relief include the following: creation of plan and height control along relief perimeter and route of equipment motion within salt tailings pile with the help GPS-system; experimental study of salt tailings relief while using an electronic tacheometer with reflectorless regime; import of total station coordinates in software package LISCAD Plus where simulation of salt tailings is formed; study of digital salt tailings simulation and its interpretation. More accurate study of salt tailings is carried out by laser scanning while using scanner Leica ScanStation C10. Operations from several stations are executed with the purpose to obtain data on salt

Адрес для переписки

Михайлов Владимир Иванович
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 150,
220014, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 265-95-97
inggeod@bntu.by

Address for correspondence

Mikhailov Vladimir I.
Belarusian National Technical University
150 Nezavisimosty Ave.,
220014, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 265-95-97
inggeod@bntu.by

tailings and these operations provide their complete survey. Results of the survey are loaded into a computer; the data is compiled together and so a digital simulation of salt tailings is obtained. An advantage of laser scanning is complete automation and due to this accuracy is increased significantly and time required for the survey is reduced. Such approach makes it possible to increase efficiency in various measures directed on improvement of environmental conditions.

Keywords: salt tailing, GPS-system, electronic tacheometer, laser scanner, software package LISCAD Plus SEE

For citation: Mikhailov V. I., Kononovich S. I., Chiberkus Yu. N., Voronovich A. O. (2018). Study of Soligorsk Salt Tailings Piles while Using Up-To-Date Geodetic Technologies. *Science and Technique*. 17 (4), 288–291. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-4-288-291> (in Russian)

При переработке и обогащении сырья Солигорским горнодобывающим комплексом ежегодно образуются миллионы тонн твердых галитовых отходов и сотни тысяч тонн глинисто-солевых шлаков, занимающих большие площади (около 3000 га) под отвалы и шламохранилища с ориентированным объемом 1,5 млрд т. Одним из перспективных и экономически целесообразных способов утилизации этих отходов является их переработка с получением поваренной соли. Вторым крупным потребителем галитовых отходов может быть производство кальцинированной соды. Однако они лишь частично могут быть переработаны в поваренную соль и содопродукты, значительная часть их не находит сбыта и подлежит захоронению.

В целях охраны окружающей среды и сохранения земельных угодий разработан и используется способ высотного складирования галитовых отходов в солеотвалы (рис. 1). На сегодняшний день они заметны за многие километры и представляют собой красноватые горы, достигающие в высоту 120–150 м.



Рис. 1. Солеотвалы. Использование лазерного сканера Leica ScanStation C10 для создания цифровой модели рельефа

Fig. 1. Salt tailings piles. Usage of laser scanner Leica ScanStation C10 for creation of digital relief simulation

Такая концентрация их огромных масс на ограниченной площади земной поверхности приводит к активизации геодинамических процессов. Кроме этого, эрозия и смыл дождевыми и талыми водами ежегодно вызывают осадку соляных холмов на несколько метров, что

ухудшает экологическую ситуацию в данном районе. Они становятся источником засоления почво-грунтов и подземных вод. Поэтому это обстоятельство требует действенной системы слежения, прогнозирования и управления процессами складирования галитовых отходов.

В Солигорском промрайоне наблюдения за процессом засоления подземных вод и грунтов осуществляются с использованием инженерно-геологических, геохимических, геофизических и геодезических методов [1, 2]. Однако существенного улучшения природных ландшафтов в регионе пока не произошло. Одной из причин, на наш взгляд, является отсутствие должного контроля за состоянием и динамикой солеотвалов.

Наряду с вышеперечисленными методами, изучение галитовых отходов с помощью инновационных технологий – один из эффективных способов при охране и рациональном использовании окружающей среды этого района [3, 4].

В настоящее время при решении данной задачи весьма привлекательно использование как принципиально новых геодезических приборов в комплексе с персональными компьютерами и специализированным программным обеспечением для обработки, планирования, интерпретации и документирования данных, так и традиционных для классической геодезии приборов, дополненных новыми функциями и реализованных с учетом новейших технологий. К разделу принципиально новых можно отнести спутниковые системы позиционирования (GPS-системы), электронные тахеометры, использующие лазерные дальномеры, способные измерять расстояния без отражателя, с автоматической регистрацией результатов измерений в цифровом виде со встроенным программным обеспечением для решения ряда прикладных задач.

Таким образом, полевые работы по измерению рельефа солеотвалов с учетом вышеизложенного сводятся к следующему:

– созданию с помощью GPS-системы планового и высотного обоснования для тахеометрической съемки рельефа солеотвала;

– измерению с помощью тахеометра в безотражательном режиме.

Безусловно, регистрировать все рельефные точки на солеотвале можно только с использованием GPS-системы в реальном масштабе времени. Однако при этом исполнитель с GPS-приемником должен пешком пройти по всем точкам, что весьма трудоемко и требует больших временных затрат. Гораздо эффективнее применять GPS-приемник при создании планового и высотного обоснования по периметру галитовых отходов и на трассах перемещения по нему техники. Затем на точках обоснования установить тахеометр, например Leica TS02, Leica TS06, с дальностью безотражательных измерений до 1000 м и выполнить окончательные наблюдения. По нашему мнению, наибольшую эффективность такая съемка может дать при разработке участка галитовых отходов и отгрузке техногенной соли, а также для измерения деформаций земной поверхности вокруг солеотвалов.

После полевых измерений координат рельефных точек они импортируются в программный комплекс LISCAD Plus, в котором выполняется моделирование рельефа или, другими словами, формирование цифровой модели солеотвала (ЦМС) на основе метода строгой триангуляции. Этот комплекс предоставляет достаточно удобные возможности для работы с ЦМС и последующих вычислений объемов галитовых отходов. Так, LISCAD Plus позволяет создать базу ЦМС и затем сравнивать ее с другими аналогичными моделями, полученными в последующие эпохи съемок. Это необходимо для определения разностей объемов, а также для осуществления трехмерной визуализации и вращения цифровой модели галитовых отходов.

Метод наземного лазерного сканирования характеризуется большой детализацией измерительных поверхностей, высокой производительностью, возможностью получения 3D-модели объекта местности [5, 6].

Более дорогой, но максимально точный, этот метод нашел уже широкое применение на практике. Например, при инженерно-геодезических изысканиях [7], изучении оползней и береговой зоны [8], ремонте автодорог [9] и картографировании геологических разрезов [10]. Поэтому эффективный метод изучения солевых отвалов – лазерное сканирование, интерес к которому растет с каждым годом.

Лазерный сканер Leica ScanStation C10 (рис. 2) устанавливается на штатив. Исполнитель задает требуемую плотность облака точек (разрешение на местности, которое может быть по-

рядка сантиметра) и область съемки, затем запускает процесс сканирования. Для получения полных данных о солеотвале выполняются аналогичные операции с нескольких станций (позиций), обеспечивающих полный обзор солевых отвалов. Результаты съемки со всех станций вводятся в компьютер, «сшиваются», и таким образом получается полная цифровая модель солеотвала.



Рис. 2. Лазерный сканер Leica ScanStation C10

Fig. 2. Laser scanner Leica ScanStation C10

Преимущество лазерного сканирования заключается в полном автоматическом сканировании галитовых отходов, что исключает субъективный фактор при выборе пикетных точек, например исполнителем тахеометрической съемки.

Фрагмент измерения объема части солеотвала лазерного сканера Leica ScanStation C10 приведен на рис. 3.

Сопоставительный анализ современной методики слежения за изменениями рельефа солеотвалов показал неоспоримое преимущество последней – существенно возросли точностные характеристики съемки. Кроме этого, если раньше полевые работы для съемки одного такого объекта требовали от одной до нескольких недель, то с использованием новых технологий их можно выполнить в течение одного дня.

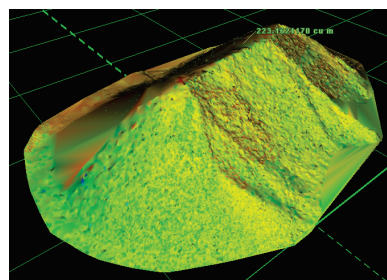


Рис. 3. Цифровая модель поверхности солеотвала

Fig. 3. Digital Surface Model [DSM] of salt tailings

ВЫВОДЫ

1. Предложенная геодезическая методика изучения галитовых отходов на основе иннова-

ционных технологий позволяет более эффективно использовать GPS-приемник для создания пунктов съемочного обоснования по периметру солеотвалов и на трассе перемещения техники по соляным отвалам.

2. Разработанная методика создания цифровой модели солеотвала на основе полевых измерений электронным тахеометром дает возможность вычислять текущие объемы галитовых отходов.

3. Проведенные экспериментальные измерения солеотвала лазерным сканером с нескольких станций показали высокую эффективность построения полной цифровой модели обследуемого объекта за короткий промежуток времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Астровский, А. А. О возможности изучения Солигорских солеотвалов с помощью фототеодолитной съемки / А. А. Астровский, В. И. Михайлов // Калейные соли Беларуси: состояние, освоение месторождений, перспективы развития, проблемы: тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. Минск, 1999. С. 137–139.
2. Михайлов, В. И. Изучение антропогенной геодинамики горнопромышленных районов, находящихся в экстремальных условиях / В. И. Михайлов, А. О. Серченя // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 11-й науч.-техн. конф. Минск: БНТУ, 2011. Т. 2. С. 46.
3. Изучение геодинамических явлений в Солигорском горнопромышленном районе инновационными технологиями / В. И. Михайлов [и др.] // Наука и техника. 2013. № 6. С. 60–63.
4. Экспериментальный геодезический мониторинг Солигорских солеотвалов на основе инновационных технологий / В. И. Михайлов [и др.] // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 12-й Междунар. науч.-техн. конф. Минск, 2014. Т. 3. С. 47.
5. Шевченко, Е. Н. Наземная лазерная сканирующая система Riegl LMS-Z420i – новейший метод дистанционного зондирования / Е. Н. Шевченко, В. Ф. Кучук, Н. А. Дуброва // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. 2008. № 2. С. 125–131.
6. Медведев, Е. М. Преимущества применения лазерных сканирующих систем наземного и авиационного базирования / Е. М. Медведев, С. Р. Мельников // Горная промышленность. 2002. № 5. С. 2–4.
7. Азаров, Б. Ф. Использование лазерного сканера GLS-1500 Topcon для проведения инженерно-геодезических изысканий / Б. Ф. Азаров // Ползуновский вестник. 2014. № 1. С. 6–9.
8. О применении технологии наземного лазерного сканирования для оценки состояния компонентов береговой зоны в районе Вербенской косы (Азовское море) / А. В. Погорелов [и др.] // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2013. № 2. С. 58–63.
9. Азаров, Б. Ф. Методика оценки объемов выполненных работ при ремонте автодорог с применением технологии наземного лазерного сканирования / Б. Ф. Азаров // Ползуновский вестник. 2017. № 1. С. 51–55.
10. Корецкая, Г. А. Особенности применения лазерных сканеров для картографирования разрезов / Г. А. Корецкая,

Д. С. Корецкий // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2013. № 3. С. 35–37.

Поступила 07.02.2018

Подписана в печать 19.04.2018

Опубликована онлайн 27.07.2018

REFERENCES

1. Astrovsky A. A., Mikhailov V. I. (1999) On Possibility to Study the Soligorsk Salt Tailings Piles with the Help of Photo-Theodolite Survey. *Kaliinye Soli Belarusi: Sostoyanie, Osvoenie Mestorozhdenii, Perspektivy Razvitiya, Problemy: Tezisi Doklada Mezhdunar. Nauch.-Tekhn. Konf* [Potassium Salts in Belarus: State, Deposit Development, Prospects, Problems: Report Abstracts of International Scientific and Practical Conference]. Minsk, 137–139 (in Russian).
2. Mikhailov V. I., Serchenia A. O. (2011) Study of Human-Induced Geodynamics in Mining Areas Being under Extreme Conditions. *Nauka – Obrazovaniyu, Proizvodstvu, Ekonomike: Materialy 11-i Nauch.-Tekhn. Konf. T. 2* [Science for Education, Production and Economy: Proceedings of the 11th Scientific and Technical Conference. Vol. 2]. Minsk, Belarusian National Technical University, 46 (in Russian).
3. Mikhailov V. I., Kononovich S. I., Chiberkus Yu. N., Terreshina O. Yu. (2013) Investigations of Geodynamic Phenomena in the Soligorsk Mining Region by Innovative Technologies. *Nauka i Tekhnika = Science and Technique*, (6), 60–63 (in Russian).
4. Mikhailov V. I., Kononovich S. I., Chiberkus Yu. N., Iskrikskaya A. O. (2014) Experimental Geodetic Monitoring of the Soligorsk Salt Tailings Piles on the Basis of Innovation Technologies. *Nauka – Obrazovaniyu, Proizvodstvu, Ekonomike: Materialy 12 Nauch.-Tekhn. Konf. T. 3* [Science for Education, Production and Economy: Proceedings of the 12th Scientific and Technical Conference. Vol. 3]. Minsk, 47 (in Russian).
5. Shevchenko E. N., Kuchuk V. F., Dubrova N. A. (2008) Terrestrial Laser Scanner System RIEGL LMS-Z420i – State-of-the Art Method for Remote Probing. *Naukovi Pratsi UkrNDMI NAN Ukraini* [Scientific Works Ukrainian State Research and Design Institute of Mining Geology, Rock Mechanics and Mine Surveying, National Academy of Sciences of Ukraine], (2), 125–131 (in Russian).
6. Medvedev E. M., Melnikov S. R. (2002) Advantages for Application of Land- and Airborne-Based Laser Scanning Systems. *Gornaya Promyshlennost* [Mining Industry], (5), 2–4 (in Russian).
7. Azarov B. F. (2014) Usage of Laser Scanning GLS-1500 Topcon for Execution of Engineering and Geodetic Surveys. *Polzunovsky Vestnik*, (1), 6–9 (in Russian).
8. Pogorelov A. V., Antonenko M. V., Fedorova S. I., Eletsky Yu. B. (2013) On Application of Technology for Land-Based Scanning to Evaluate State of Components in the Coastal Zone of the Verbensk Shallow Spit (Sea of Azov). *Zashchita Okruzhayushchey Sredy v Neftegazovom Komplekse* [Protection of Environment in Oil-Gas Complex], (2), 58–63 (in Russian).
9. Azarov B. F. (2017) Methodology for Evaluation of Scope for the Executed Works while Repairing Traffic Roads with Application of Land-Based Laser Scanning Technology. *Polzunovsky Vestnik*, (1), 51–55 (in Russian).
10. Koretskaya G. A., Koretsky D. S. (2013) Peculiar Features in Application of Laser Scanners for Open-Cast Mapping. *Vestnik Kuzbasskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta = Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, (3), 35–37 (in Russian).

Received: 07.02.2018

Accepted: 19.04.2018

Published online: 27.07.2018

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-4-292-296>

УДК 627.8.034

Расчетная модель размыва грунтовых плотин при переливе

Канд. техн. наук, доц. П. М. Богославчик¹⁾

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

© Белорусский национальный технический университет, 2018
Belarusian National Technical University, 2018

Реферат. Перелив воды через гребень грунтовой плотины приводит к ее быстрому разрушению. Образующаяся в нижнем бьефе волна прорыва ведет к тяжелым экономическим и социальным последствиям. Точность расчета параметров волны прорыва зависит от точности построения гидрографа расхода в створе размываемой плотины. На основании экспериментальных данных разработана расчетная схема размыва грунтовой плотины при переливе. В соответствии с этой схемой размыв разделен на две стадии. На первой стадии происходит размыв низовой упорной призмы. Отметка гребня со стороны верховой бровки остается постоянной. На второй стадии наблюдается интенсивное снижение гребня. При этом размываемый массив имеет форму водослива практического профиля. На основании этой схемы разработана математическая модель, в соответствии с которой рассматриваются совместно уравнения деформации и движения потока. Данная модель хорошо согласуется с физической картиной размыва при быстром нарастании паводка и известной ширине размыва, например при расчете размываемых вставок резервных водосборов. В общем случае и при отсутствии ограничений по ширине (пространственная задача) в расчетных формулах появляется еще одна неизвестная величина – ширина потока в створе размыва. Описаны особенности физической картины размыва для такого случая, приведен и проанализирован ряд известных формул по определению ширины размыва. Выбрано уравнение, которое хорошо вписывается в предложенную математическую модель, что дает возможность адаптировать ее для пространственных условий размыва. Расчеты по данной методике позволяют построить гидрограф расхода в створе размываемой плотины.

Ключевые слова: перелив через гребень, волна прорыва, гидрограф расхода, уравнения деформации, уравнения движения потока, ширина размыва

Для цитирования: Богославчик, П. М. Расчетная модель размыва грунтовых плотин при переливе / П. М. Богославчик // *Наука и техника*. 2018. Т. 17, № 4. С. 292–296. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-4-292-296>

Calculation Model of Soil Dam Wash-Away Due to Overflow

P. M. Bohaslauchyk¹⁾

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

Abstract. Water flow over soil dam crest causes its fast failure. Break-through wave being formed in dam ebb side leads to drastic economic and social consequences. Accuracy in calculation of the break-through wave parameters depends on the accuracy of discharge hydrograph construction in the dam erosion site. A calculation scheme for soil dam wash-away due to overflow has been devised on the basis of the experimental data. Wash-away process is divided in two stages in accordance with the devised scheme. Wash-away of the downstream toe occurs at the first stage. The crest level from the side of upstream edge remains constant. Intensive crest lowering is observed at the second stage. The eroding body is considered to have a shape of a round-crested weir. In such a case the washed-away massif has a form of nappe-shaped crest profile. A mathematical model has been developed on the basis of this scheme and according to this model equations of deformation and flow motion are considered simultaneously. The model is consistent in a good way with physical erosion pattern during fast flood rise and when the erosion width is known; the model is recommended for calculation of breaching sections in reserve water outlets. In general case and when the width is unlimited (three-dimensional problem) calculation formulae have one more unknown variable that is flow width within the erosion site. The paper describes peculiar features in physical erosion pattern for such case and a number of the known formulae for determination of the erosion have been given and

Адрес для переписки

Богославчик Петр Михайлович
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 150,
220014, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 267-98-08
fes@bntu.by

Address for correspondence

Bohaslauchyk Petr M.
Belarusian National Technical University
150 Nezavisimosty Ave.,
220014, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 267-98-08
fes@bntu.by

analyzed in the paper. The equation which fits in a good way in the proposed mathematical model has been chosen, and it provides the possibility to adapt the model for three-dimensional erosion conditions. Calculations made in accordance with the proposed methodology make it possible to construct discharge hydrograph in the dam erosion site.

Keywords: water flow over crest, break-through wave, discharge hydrograph, deformation equations, flow equations, erosion width

For citation: Bohaslauchyk P. M. (2018). Calculation Model of Soil Dam Wash-Away Due to Overflow. *Science and Technique*. 17 (4), 292–296. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-4-292–296> (in Russian)

Введение

Перелив воды через гребень грунтовой плотины приводит к ее безусловному и быстрому разрушению. По этой причине происходит до 33 % аварий на грунтовых гидросооружениях [1, с. 139]. Аварии подобного рода на гидротехнических сооружениях можно отнести к наиболее опасным, так как образующаяся в нижнем бьефе волна прорыва приводит к тяжелым экономическим и социальным последствиям. Расчет параметров волны прорыва в настоящее время выполняется в предположении мгновенного разрушения плотины по всей высоте и ширине. Это предположение носит весьма приблизительный характер. На самом деле процесс размыва происходит не мгновенно, а в течение некоторого времени, и в процессе размыва изменяются геометрические параметры образовавшегося прорана и соответственно расход воды через него. Таким образом, точность расчета параметров волны прорыва при размыве грунтовой плотины переливом зависит от точности построения гидрографа расхода в створе размываемой плотины. Поэтому исследование процесса размыва грунтовой плотины при переливе воды через гребень – задача важная и актуальная.

Основная часть

Ранее на основании экспериментальных данных при исследовании резервного водосброса с размываемой грунтовой вставкой [2–4] была разработана расчетная схема размыва грунтовой вставки при переливе. В соответствии с этой схемой (рис. 1) размыв вставки из песчаных грунтов разделен на две стадии. На первой происходит размыв низовой упорной призмы $ABCD$ (рис. 1a) параллельными слоями. Отметка гребня со стороны верховой бровки остается в данном случае постоянной. На второй стадии (рис. 1b) гребень интенсивно сни-

жается. При этом размываемый массив приобретает форму водослива практического профиля, которую имеет до полного размыва.

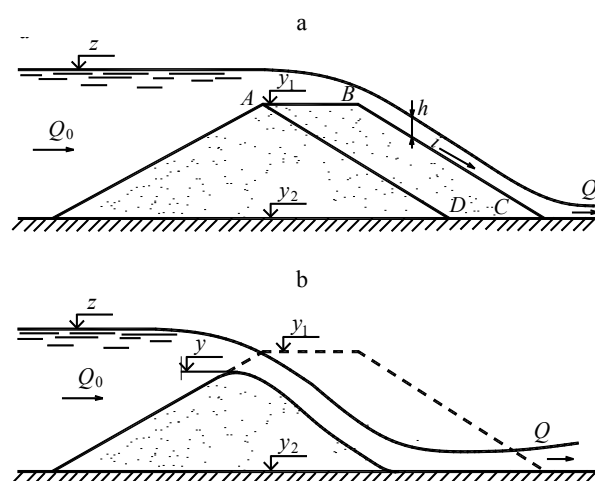


Рис. 1. Расчетная схема размыва грунтовой плотины при переливе: а – первая стадия; б – вторая стадия

Fig. 1. Calculation model of soil dam erosion during overflow: a – first stage; b – second stage

На основании этой схемы была разработана математическая модель, в соответствии с которой рассматриваются совместно уравнения деформации и движения потока. Уравнение деформации для первой стадии размыва имеет следующий вид:

$$\frac{dM}{dt} = \frac{Ai^{1,2}(2g)^{0,8}}{2,4} m^{1,6} (z - y)^{2,4}, \quad (1)$$

где M – масса размываемого грунта низовой упорной призмы $ABCD$, кг; t – время, с; A – параметр, принимаемый для песчаных грунтов 0,153; i – уклон дна по низовому откосу; m – коэффициент расхода; z – уровень верхнего бьефа; y – отметка гребня размываемой плотины (для первой стадии $y = \text{const}$).

Уравнение деформации для второй стадии

$$\frac{dy}{dt} = -\sigma \frac{Bm^{0,43}\varepsilon_1}{\rho_0} (z - y)^{0,6}, \quad (2)$$

где

$$B = 6,77(1 + \varphi)dg^{2,17} \left(\frac{5,64n\sqrt{2g}}{\varphi w} \right)^{3,33}; \quad (3)$$

$$\varepsilon_1 = \frac{1 - 1,26m^{2/3}}{\beta} 2g; \quad (4)$$

σ – коэффициент подтопления; ρ_0 – плотность грунта тела плотины, кг/м³; d – средний диаметр частиц размываемого грунта, м; φ – параметр турбулентности (отношение расчетной скорости падения частицы в воде к ее действительной гидравлической крупности); β – коэффициент, принимаемый для песчаных грунтов 1,5–2,0.

Уравнение движения потока

$$\frac{dz}{dt} = \frac{Q_0 - Q}{F}, \quad (5)$$

где Q_0 , Q – расход воды в верхнем бьефе и через размываемый проран, м³/с; F – площадь зеркала воды в верхнем бьефе, м².

Расход воды через размываемый проран определяется для любой стадии по формуле поверхностного водослива

$$Q = \sigma m B \sqrt{2g} (z - y)^{1,5}, \quad (6)$$

где B – ширина переливающегося потока, м.

Коэффициент расхода m определяется на первой стадии как для водослива с широким порогом, на второй – как для водослива практического профиля.

Расчеты по уравнениям (1)–(6) позволяют определить z , y , Q в любой момент времени и построить гидрограф расхода в створе размываемой плотины. Данная методика хорошо согласуется с результатами исследований других авторов [1, с. 330–332]. Нужно, однако, отметить, что наши исследования проводились применительно к размываемым вставкам резервных водосбросов. Особенностью их работы является ограничение размыва по ширине. Это означает, что ширина B в формуле (6) – величина известная в любой момент размыва. Вторая особенность: предполагается быстрое нарастание паводка, что означает быстрое повышение уровня верхнего бьефа, размыв при этом происходит одновременно по всей ширине размываемой вставки. Данное допущение выпол-

не обосновано для расчета водосбросов, так как подобный случай наиболее опасный с точки зрения надежности гидроузла в условиях паводка.

Если же рассматривать грунтовую плотину достаточно большой ширины, то опыты показывают другую картину размыва, а именно: размыв начинается не по всей ширине, а в некоторой точке при $B = 0$. Образуется проран, который со временем увеличивается. Если за основу принять предложенную выше расчетную схему, то в расчетных формулах появляется еще одна неизвестная величина – ширина потока в створе размыва B (ширина переливающегося потока), которая в процессе размыва изменяется от $B = 0$ до $B = B_{\max}$.

Существует ряд предложений по определению ширины прорана в процессе размыва. А. А. Каниболоцким [5] была предложена следующая формула:

$$B_t = E \left(\frac{u_n (z_t^{n-0,25} - z_0^{n-0,25})}{n - 0,25} - \frac{0,4\sqrt{2g} (z_t^{n+0,25} - z_0^{n+0,25})}{n + 0,25} \right), \quad (7)$$

где

$$E = \frac{3an}{\rho\sqrt{g}d^{0,85}h_n \left[b + \frac{u}{g}(m_1 + m_2)h_n \right]}; \quad (8)$$

u_n – неразмывающая скорость потока; z_0 , z_t – превышение горизонта воды над плоскостью предельного размыва в начальный момент времени и в момент времени t ; n , a – постоянные, зависящие от топографических характеристик потока (см. ниже); ρ – плотность грунта тела плотины; h_n – наибольшая глубина прорана, т. е. глубина прорана по его оси; d – средний диаметр частиц грунта тела плотины; u – средняя скорость потока в проране; m_1 , m_2 – коэффициент заложения верхового и низового откосов плотины.

Поперечное сечение прорана описывается выражением

$$-\frac{h_x}{h_n} = \left(\frac{2x}{B} \right)^4 - 1, \quad (9)$$

где h_x – глубина прорана на расстоянии x от его оси.

В работе И. И. Херхеулидзе с соавторами [6] приведены результаты исследований размыва завальных плотин на горных реках и предложены следующие зависимости:

$$\frac{dy}{dt} = 0,47 \frac{h^{1/2}}{d^{1/6}}; \quad (10)$$

$$\frac{dB}{dt} = 0,0115 \frac{h^{0,47}}{d}, \quad (11)$$

где y – отметка гребня плотины; t – время в минутах; B – ширина прорана; h – глубина потока над гребнем; d – средний диаметр частиц размываемого грунта.

В [7] С. Г. Косаревым предложена следующая модель размыва. Первоначальная ширина размыва в проране при переливе через гребень принимается $B_1 = 1,0$ м. Ширина прорана в любой момент времени определяется по формуле

$$B_{i+1} = B_i + \frac{\Delta W_i}{\Omega_{пл}}, \quad (12)$$

где ΔW_i – объем грунта, вынесенного из тела плотины за период времени t_i ; $\Omega_{пл}$ – площадь сечения плотины в месте размыва.

При этом сечение прорана принимается прямоугольным на участке развития от гребня до основания плотины.

Математическая модель, предложенная в [8] А. М. Прудовским, основана на анализе систематического экспериментального исследования. Эмпирическая зависимость, полученная при относительно небольшом диапазоне изменения величины, имеет следующий вид:

$$\frac{dB}{dt} = \frac{A\sqrt{g}}{w_{уд}} h_t^{5/3}, \quad (13)$$

где t – текущее время формирования прорана, с; $A = 0,02$; $w_{уд}$ – площадь поперечного сечения дамбы между ее гребнем и дном прорана, m^2 ; h_t – разность между уровнем воды в верхнем бьефе и отметкой дна прорана, м.

Тот факт, что данная зависимость получена для весьма ограниченного диапазона изменения факторов, требует ее уточнения.

В работах К. Р. Пономарчук [9, 10] по итогам гидравлического моделирования были построены графики изменения во времени ширины прорана $B = B(t)$, на основании которых выведена эмпирическая формула развития ширины прорана B от времени t

$$\frac{dB}{dt} = 0,035 \frac{g^{1/2} h_t^{9/2}}{W_{уд}^2}, \quad (14)$$

где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения; $W_{уд}$ – площадь поперечного сечения плотины между ее гребнем и дном прорана; h_t – разность уровней воды между верхним бьефом и дном прорана.

Сравнительный анализ показал преимущество формулы (14) по отношению к другим. Она проста, удобна и хорошо согласуется с предлагаемой выше математической моделью размыва. Может настораживать отсутствие в ней характеристик размываемого грунта. Обратимся, однако, к физической картине рассматриваемого явления. Особенность его – это то, что размыв по ширине происходит не только путем перехода частиц грунта во влекомое и взвешенное состояние, но и путем обрушения откосов прорана и выноса обрушивающихся масс грунта в нижний бьеф [4]. Поэтому практически невозможно получить расчетные зависимости $B = f(t)$ на основе теории размыва, как это было при решении плоской задачи. Кроме того, как было замечено в [2], при скоростях потока, значительно превышающих неразмывающие, характеристики размываемого грунта мало влияют на процесс размыва. В связи с этим нецелесообразно усложнять зависимости, описывающие подобного рода явления, так как это не дает повышения точности расчетов.

Преобразуем (13) к более удобному виду. Приняв $h_t = (z - y)$ и $W_{уд} = B(y_1 - y)$, получаем

$$\frac{dB}{dt} = 0,035 \frac{g^{0,5} (z - y)^{4,5}}{B^2 (y_1 - y)^2}, \quad (15)$$

где y_1 – отметка гребня плотины.

Таким образом, совместное рассмотрение уравнений (1), (2), (5), (6), (15) дает полную картину размыва грунтовой плотины при переливе воды через гребень. Их решение позволяет получить гидрограф расхода в створе размываемой плотины.

ВЫВОД

Разработанная на основе экспериментальных исследований математическая модель размыва грунтовых плотин при переливе дополнена формулой по определению ширины прорана во времени. Полученная модель позволяет построить гидрограф расхода в створе размываемой плотины, что повышает точность расчета параметров волны прорыва в нижнем бьефе, образующейся при аварии в случае размыва грунтовой плотины переливом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Векслер, А. Б. Надежность, социальная и экологическая безопасность гидротехнических объектов: оценка риска и принятие решений / А. Б. Векслер, Д. А. Ивашинцов, Д. В. Стефанишин СПб.: Изд-во «ВНИИГ имени Б. Е. Веденеева», 2002. 591 с.
2. Богославчик, П. М. Гидравлический расчет резервного водосброса с размываемой вставкой / П. М. Богославчик // Водное хозяйство и гидротехническое строительство: Республиканский межведомственный сборник. Минск: Вышэйш. шк., 1990. Вып. 19. С. 24–30.
3. Богославчик, П. М. К расчету размыва однородной плотины из песчаных грунтов при переливе через гребень / П. М. Богославчик, И. В. Филиппович // Известия вузов СССР. Энергетика. 1983. № 2. С. 100–105.
4. Филиппович, И. В. Исследование размыва резервного водосброса на крупномасштабных моделях / И. В. Филиппович, П. М. Богославчик // Водное хозяйство и гидротехническое строительство Республиканский межведомственный сборник. Минск: Вышэйш. шк., 1986. Вып. 15. С. 68–73.
5. Каниболоцкий, А. А. Динамика размыва плотины хвостохранилища переливающимся потоком воды / А. А. Каниболоцкий // Осушение месторождений, рудничная гидрогеология, специальные горные работы, гидротехника: темат. сб. науч. тр. Белгород: ВИОГЕМ, 1980. С. 93–98.
6. Херхеулидзе, И. И. Эмпирические зависимости для расчета элементов прорыва завальных плотин / И. И. Херхеулидзе, В. И. Виноградова, Н. В. Рухадзе // Гидрологические и гидротехнические основы проектирования противоселевых сооружений: тр. Закавказ. науч.-исслед. гидрометеор. ин-та. Ленинград: Лениздат, 1972. Вып. 46 (40). С. 181–206.
7. Косарев, С. Г. Методика расчета развития прорана в теле однородных земляных намывных плотин вследствие возникновения аварийных ситуаций / С. Г. Косарев // Гидротехническое строительство. 2012. № 4. С. 17–20.
8. Прудовский, А. М. Образование прорана при прорыве земляной плотины / А. М. Прудовский // Безопасность энергетических сооружений: науч.-техн. и производ. сб. М.: АО «НИИЭС», 1998. Вып. 2–3. С. 67–79.
9. Пономарчук, К. Р. Оценка влияния раскрытия прорана в грунтовой плотине на гидравлический режим нижнего бьефа / К. Р. Пономарчук // Роль природообустройства сельских территорий в обеспечении устойчивого развития АПК: материалы Междунар. науч.-практ. конф. М.: МГУП, 2007. Ч. I. С. 273.
10. Пономарчук, К. Р. Оценка параметров развития прорана при разрушении грунтовой плотины / К. Р. Пономарчук // Природообустройство. 2011. № 3. С. 77–82.
2. Bogoslavchik P. M. (1990) Hydraulic Calculation of Reserve Water Discharge with Breaching Section. *Vodnoye Khozyaistvo i Gidrotekhnicheskoye Stroitelstvo. Respublikanskii Mezhhvedomstvennyi Sbornik* [Water Industry and Hydrotechnical Construction. Republican Interagency Compilation]. Minsk, Vysheishaya Shkola Publ., 19, 24–30 (in Russian).
3. Bogoslavchik P. M., Filippovich I. V. (1983) For Wash-Away Calculation of Uniform Sand-Soil Dam in Case of Crest Overflow. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii SSSR. Energetika* [Proceedings of USSR Higher Education Institutions. Energetika], (2), 100–105 (in Russian).
4. Filippovich I. V., Bogoslavchik P. M. (1986) Investigation of Wash-Away in Reserve Water Discharge while Using Large-Scale Models. *Vodnoye Khozyaistvo i Gidrotekhnicheskoye Stroitelstvo. Respublikanskii Mezhhvedomstvennyi Sbornik* [Water Industry and Hydrotechnical Construction. Republican Interagency Compilation]. Minsk, Vysheishaya Shkola Publ., 15, 68–73 (in Russian).
5. Kanibolotsky A. A. (1980) Dynamics in Wash-Away of Tailings Dam Due to Super-Fluent Water Flows. *Osushenie Mestorozhdenii, Rudnichnaya Gidrogeologiya, Spetsial'nye Gornye Raboty, Gidrotekhnika: Temat. Sb. Nauch. Tr.* [Drainage of Deposits, Mining Hydrogeology, Special Mining Works, Hydraulic Engineering. Thematic Collection of Scientific Works]. Belgorod, VIOGEM, 93–98 (in Russian).
6. Kherkheulidze I. I., Vinogradova V. I., Rukhadze N. V. (1972) Empirical Dependences used to Calculate Elements for Break of Landslide Dam. *Gidrologicheskie i Gidrotekhnicheskie Osnovy Proektirovaniya Protivoselevykh Sooruzhenii: Trudy Zakavkazskogo Nauch.-Issled. Gidrometeor. In-ta* [Hydrological and Hydro-Technical Fundamentals for Designing of Mudflow Protection Structures: Proceedings of Transcaucasian Regional Scientific Research Institute]. Leningrad, Lenizdat Publ., 46 (40), 181–206 (in Russian).
7. Kosarev S. G. (2012) Procedure for Analysis of Break-Out Channels Within Bodies of Homogeneous Hydraulic-Fill Dams in Emergency Situations. *Power Technology and Engineering*, 46 (3), 205–209. <https://doi.org/10.1007/s10749-012-0333-x>.
8. Prudovsky A. M. (1998) Passage Formation Due to Break of Earth-Fill Dam. *Bezopasnost' Energeticheskikh Sooruzhenii: Nauch.-Tekhn. i Proizvod. Sbornik* [Safety of Power Engineering Installations: Scientific-and-Technological and Production Collection]. Moscow, Scientific-Research Institute of Power Engineering Installations, 2–3, 67–79 (in Russian).
9. Ponomarchuk K. R. (2007) Evaluation of Impact of Passage Opening in Soil Dam on Hydraulic Regime of Downstream. *Rol' Prirodoobustroystva Sel'skikh Territorii v Obespechenii Ustoichivogo Razvitiya APK: Materialy Mezhdunar. Nauch.-Prakt. Konf. Ch. I* [Role of Environmental Engineering for Agricultural Areas to Provide Sustainable Development for Agroindustrial Complex: Proceedings of Scientific and Practical Conference. Part. 1]. Moscow, Moscow State University of Environmental Engineering, 273.
10. Ponomarchuk K. R. (2011) Evaluation of Parameters for Passage Development while Breaking Soil Dam. *Prirodoobustroystvo*, (3), 77–82 (in Russian).

Поступила 14.02.2018

Подписана в печать 19.04.2018

Опубликована онлайн 27.07.2018

REFERENCES

Received: 14.02.2018

Accepted: 19.04.2018

Published online: 27.07.2018

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-4-297-305>

УДК 666.972; 693.54

Эффективность в цементе и цементном бетоне диспергированной гранитной породы

А. В. Смоляков¹⁾

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

© Белорусский национальный технический университет, 2018
Belarusian National Technical University, 2018

Реферат. Изложены результаты исследований процесса диспергации (помола) в шаровой мельнице и влияния диспергированной гранитной горной породы (гранитных отсеков РУПП «Гранит», Брестская область), применяемой в качестве минеральной добавки, на свойства цемента, кинетику твердения и прочность цементного камня, морфологию продуктов гидратации цемента в ее присутствии. Результатами комплексных исследований, включая данные рентгенофазового и дериватографического анализов, показано, что вещество гранитной породы не изменяет морфологию новообразований – продуктов реакции клинкерной части вяжущего с водой. Они идентичны тем, которые образуются в результате реакций с ней бездобавочного (чистоклинкерного) вяжущего. Одновременно установлено, что при введении в цемент 10–20 % молотого до $S_{уд} \sim 3000 \text{ см}^2/\text{г}$ ($0,3 \text{ м}^2/\text{г}$) гранитного отсева до 20–25 % возрастает прочность цементного камня и увеличивается на 10–15 % количество химически связываемой воды клинкерной составляющей вяжущего. Обосновывается гипотеза эффекта «центров кристаллизации», который проявляют фракции молотого отсева $\leq 0,3 \text{ мкм}$ ($\leq 3000 \text{ Å}$), содержащиеся в количестве $\sim 15 \%$ его массы. Эту гипотезу подтверждают приведенные выше данные о росте прочности цементного камня и количества химически связываемой воды в их присутствии при твердении образцов в нормально-влажностных условиях, в воде и после пропаривания, а также очевидный рост прочности цементного камня на вяжущем с этой добавкой (в 2–2,5 раза в 1–3 сут. твердения) в условиях «торможения» реакций гидратации цемента за счет введения в цементное тесто химической добавки – лигносульфоната технического – в повышенной (0,3 % от массы цемента) дозировке.

Ключевые слова: диспергация, диспергированная гранитная порода, цемент, кинетика твердения, прочность цементного камня, морфология новообразований

Для цитирования: Смоляков, А. В. Эффективность в цементе и цементном бетоне диспергированной гранитной породы / А. В. Смоляков // *Наука и техника*. 2018. Т. 17, № 4. С. 297–305. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-4-297-305>

Efficiency in Cement and Cement Concrete of Dispersed Granitic Rock

A. V. Smolyakov¹⁾

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

Abstract. The paper presents results of investigations on the dispersion (grinding) process in a ball mill and it also shows an effect of dispersed granitic rock (granite screenings of RUPP “Granit”, Brest region) used as a mineral additive on cement properties, hardening kinetics and cement stone strength, morphology of cement hydration products in the presence of the granitic rock. Complex studies including data of X-ray phase and derivatographic analyses have revealed that granitic rock material does not change morphology of new formations these are reaction products obtained due to reaction of binder clinker portion with water. They are identical to those that are formed due to reactions of a no-dosage (clean-bite) binder with it. At the same time it has been established that when 10–20 % of granite screening grinded up to $S_{ud} \sim 3000 \text{ cm}^2/\text{g}$ ($0.3 \text{ m}^2/\text{g}$) have been added to cement strength of cement stone is increased by 20–25 %, and the amount of chemically bound water in clinker component of the binder is increased by 10–15 %. The paper has substantiated a hypothesis of the “crystallization

Адрес для переписки

Смоляков Алексей Владимирович
Белорусский национальный технический университет
ул. Ф. Скорины, 25,
220114, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 369-75-84
niilbism@bntu.by

Address for correspondence

Smolyakov Aleksey V.
Belarusian National Technical University
25 F. Skoriny str.,
220114, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 369-75-84
niilbism@bntu.by

centers" effect which is revealed by fractions of grinded screening $\leq 0.3 \mu\text{m}$ ($\leq 3000 \text{ \AA}$). The fractions constitute an amount of $\sim 15\%$ of the screening mass. This hypothesis has been proved by the above-mentioned data on the increase in cement stone strength and amount of chemically bound water in their presence when samples are hardened in normal-humid conditions, in water and after steaming. There is also an obvious increase in strength of cement stone on a binder with this additive (in 2–2.5 times in 1–3 days of hardening) under conditions of "inhibition" in cement hydration reactions due to introduction of a chemical additive that is ligno-sulphonate technical additive in the cement paste with enhanced dosage (0.3 % of the cement mass).

Keywords: dispersion, dispersed granitic rock, cement, hardening kinetics, cement stone strength, morphology of new formations

For citation: Smolyakov A. V. (2018). Efficiency in Cement and Cement Concrete of Dispersed Granitic Rock. *Science and Technique*. 17 (4), 297–305. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-4-297-305> (in Russian)

Введение

Анализ литературных источников по проблематике применения разнообразных минеральных добавок в цементных бетонах показывает, что в современных условиях этот технологический прием по-прежнему актуален и постоянно совершенствуется. При этом согласно данным современных исследований ряд минеральных веществ (горных пород), которые десятилетиями относили к инертным добавкам, способны влиять на процессы взаимодействия клинкерного цемента с водой. Так, исследованиями В. С. Демьяновой, В. И. Калашникова, Ю. С. Кузнецова и других ученых [1–6] выявлена активная роль предварительно диспергированных отходов дробления ($S_{\text{уд}} \sim 3200\text{--}3900 \text{ см}^2/\text{г}$ ($0,32\text{--}0,39 \text{ м}^2/\text{г}$)) горных пород различного происхождения: осадочных (известняк, доломит, песчаник), излившихся (диабаз, порфирит, перлит), глубинных (перидотит, габбро, гранит, базальт). С учетом их целевого назначения – для получения «порошковых» бетонов (высокопрочных (ВПБ) и высококачественных (ВКБ)). Основное внимание указанных и других исследователей сосредоточилось на использовании высокопрочных и твердых горных пород: диабаз, габбро, порфирита, кварцевого песка, обеспечивающих по данным анализировавшихся источников наибольшие результаты в прочности цементного камня и порошкового бетона.

Результаты исследований, относящиеся к использованию гранитной породы в качестве минеральной добавки в традиционный цементный бетон, единичны. Эта проблематика системно не рассматривалась и соответствующие данные в технической литературе практически отсутствуют. Вместе с тем для Республики Бе-

ларусь, которая не располагает традиционными материалами – минеральными добавками в цемент и цементный бетон (доменные шлаки, золы уноса, микрокремнезем и др.), но имеет производство гранитного щебня и массовые отходы от него в виде гранитного отсева (до 30–35 % перерабатываемой горной породы) на РУПП «Гранит», успешное решение такой задачи чрезвычайно актуально и своевременно. Тем более что результаты исследований, приведенные в настоящей статье, подтверждают эффективность использования гранитного отсева при производстве портландцемента с минеральной добавкой на его основе.

Помол и свойства продуктов помола

При помоле в шаровой мельнице гранитного отсева, характеризующегося насыпной плотностью $\rho^0 \sim 1550 \text{ кг/м}^3$, размером зерен фракций от 0 до 5–10 мм (последней содержится $\sim (6\text{--}7)\%$ массы), удельная поверхность продукта помола (определяли по прибору типа «ПСХ») через 30 мин достигла $S_{\text{уд}} \sim 3040 \text{ см}^2/\text{г}$ и к 5 ч работы мельницы $S_{\text{уд}} \sim 11000 \text{ см}^2/\text{г}$.

Наиболее интенсивно удельная поверхность продукта помола нарастает в первые 0,5 ч работы шаровой мельницы. После разрушения (измельчения) части исходного материала по имевшимся в структуре зерен дефектам он становится более однородным и его «сопротивление» действию мелющих тел возрастает, что и отражается в снижении темпа роста $S_{\text{уд}}$ продукта помола. При этом через ~ 30 мин помола сухого отсева достигается $S_{\text{уд}} \sim 3000 \text{ см}^2/\text{г}$, что соответствует ее значениям для современных цементов общестроительного назначения. Свойства молотого отсева в зависимости от тонкости помола приведены в табл. 1.

Таблица 1

Физические характеристики молотого отсева

Physical characteristics of grinded screening

Тонкость помола $S_{уд}$, $см^2/г$	Средняя плотность в насыпном состоянии ρ^0 , $кг/м^3$	Коэффициент нормальной густоты теста $K_{нг}^{мг}$, доли ед.	Плотность ρ , $кг/м^3$	Содержание* фракций, %			
				$\leq 0,3$ мкм	$\leq 0,5$ мкм	$\leq 1,0$ мкм	$\leq 5,0$ мкм
~3000	0,95	0,250	2,72	15	42	48	57
~6000	0,93	0,270	2,74	15	50	65	78
~9000	0,92	0,290	2,75	15	55	68	86
~11000	0,91	0,305	2,77	—	—	—	—

* Оценивали с помощью лазерного анализатора твердофазных частиц Analysette 22 NanoTec фирмы Fritch.

Данные оценки гранулометрического состава проб молотого отсева до $S_{уд} \sim 3000\text{--}9000$ $см^2/г$, полученные с помощью лазерного анализатора, свидетельствуют, что с ростом (в 2 и 3 раза от $S_{уд} \sim 3000$ $см^2/г$) тонкости помола увеличивается общее количество мелких фракций и уменьшаются количество и размер более крупных фракций (рис. 1). Однако при этом практически неизменно и составляет ~15 % от массы проб содержание ультрадисперсных фракций $\leq 0,3$ мкм (≤ 3000 Å).

Производственный процесс получения вяжущего предполагает совместный помол портландцементного клинкера, природного гипса (~3,0 % по массе) и гранитного отсева, который вводили в количестве 0; 10; 20 и 30 % от массы получаемого вяжущего; изменение

удельной поверхности во времени отражено данными табл. 2, а свойства полученного вяжущего – табл. 3. Очевидно, что $S_{уд} \sim 3000\text{--}3100$ $см^2/г$, характерная для вяжущего общестроительного назначения, обеспечивается за ~30 мин помола, и введение добавки в виде гранитного отсева не вызовет увеличения энергетических и временных затрат при его помоле в производственных условиях.

Из данных табл. 3 о прочностных характеристиках цемента (установлены по ГОСТ 310.4) следует, что рациональная тонкость помола отсева, вводимого в цемент в качестве минеральной добавки, соответствует $S_{уд} = 3000$ $см^2/г$, а ее дозировка не должна превышать 20 % от массы вяжущего.

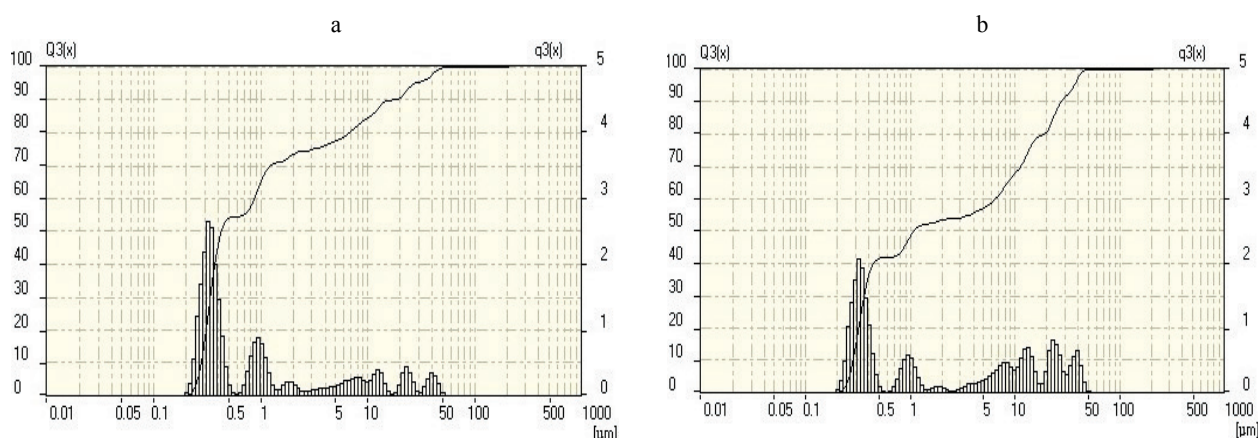


Рис. 1. Гранулометрия твердой фазы молотого гранитного отсева, %, с удельной поверхностью $S_{уд}$, $см^2/г$: а – (~3000); б – (~9000)

Fig. 1. Granulometry of solid phase for grinded granite screening, %, with specific surface of $S_{уд}$, $см^2/г$: а – (~3000); б – (~9000)

Таблица 2

Кинетика роста удельной поверхности при совместном помоле клинкера, природного гипса и гранитного отсева

Kinetics of specific surface growth in joint grinding of clinker, natural gypsum and granite screening

Измельчаемый материал	Удельная поверхность $S_{уд}$, $\text{см}^2/\text{г}$, через время помола, мин					
	5	10	15	20	30	40
Гранитный отсев	1630	—	2600	—	3040	3350
Клинкер и природный гипс	1670	2100	2550	2890	3100	3320
То же с 10 % гранитного отсева	1590	2160	2500	2900	3110	3290
То же с 20 % гранитного отсева	1670	2070	2620	2910	3060	3330
То же с 30 % гранитного отсева	1650	2140	2570	2880	3080	3300

Таблица 3

Свойства цемента с минеральной добавкой в зависимости от тонкости ее помола и дозировки

Properties of cement with mineral additive according to fineness of its grinding and dosage

Содержание в вяжущем добавки, %	$S_{уд}$ добавки, $\text{см}^2/\text{г}$	Коэффициент нормальной густоты $K_{нг}$, доли ед.	Срок схватывания, ч:мин		Прочность (активность) цемента, МПа	
			Начало	Конец	при изгибе	на сжатие
0*	—	0,280	2:40	3:55	6,7	49,5
10	3000	0,270	2:40	4:05	6,8	51,5
15	3000	0,255	2:45	4:15	6,8	52,5
20	3000	0,260	2:52	4:18	6,5	49,0
25	3000	0,260	3:02	4:26	6,1	47,9
30	3000	0,255	3:06	4:30	5,7	46,6
50	3000	0,250	3:19	4:39	—	—
20**	6000	0,275	2:56	4:45	5,8	45,5
20**	9000	0,285	3:05	4:58	5,5	43,7

* Марки М500-Д0, $S_{уд} = 3050 \text{ см}^2/\text{г}$.
 ** Данные приведены частично.

Прочность цементного камня

Результаты исследований кинетики твердения цементного камня (образцы $20 \times 20 \times 20$ мм, изготовленные из теста нормальной густоты; коэффициент вариации прочности не более 14 %), из которого после испытания на прочность отобрали пробы для оценки возможных структурно-морфологических изменений в продуктах гидратации цемента в присутствии молотого отсева и без него, приведены в табл. 4.

Из результатов испытаний следует, что введение добавки с $S_{уд} \sim 3000 \text{ см}^2/\text{г}$ не только не снижает прочность пропаренного, твердевшего в нормально-влажностных условиях и в воде цементного камня, но в дозировке до 20–25 % от массы цемента способствует ее росту. При этом оптимум приходится примерно на (15–20) % дозировки добавки. Увеличение дозировки до 25 % снижает эффект, а до 30 %

и более – сопровождается снижением прочности цементного камня на вяжущем с добавкой, так же как и увеличение тонкости помола до $S_{уд} \sim 6000\text{--}9000 \text{ см}^2/\text{г}$.

Можно предположить, что наличие в добавке и влияние на процесс взаимодействия клинкерной части вяжущего с водой тонкодисперсных частиц твердой фазы, содержащей SiO_2 (в количестве до 65–75 % массы), которое проявляется при дозировке до 20–25 % от массы цемента (МЦ) в росте прочности цементного камня, при «передозировке» минеральной добавки не компенсирует отрицательный эффект от замещения клинкерной составляющей большим количеством химически инертного вещества, а с увеличением тонкости помола – и от роста водопотребности добавки.

Рост прочности цементного камня с добавкой молотого гранитного отсева при $S_{уд} \sim 3000 \text{ см}^2/\text{г}$

в дозировке вплоть до 25 % от массы цемента может быть связан с активирующим действием тонкодисперсных частиц соединений, содержащих SiO_2 в гранитной породе, на процессы гидратации и твердения вяжущего. Для подтверждения или опровержения этой гипотезы были выполнены комплексные исследова-

ния проб цементного камня с помощью ДТА-анализа (рис. 2а, б), рентгенофазового анализа (рис. 3а, б), а также путем оценки количества химически связываемой цементом воды (табл. 5) и кинетики твердения в усложненных для протекания реакций цемента с водой условиях.

Таблица 4

Кинетика роста прочности на сжатие цементного камня

Kinetics of growth in compressive strength of cement stone

Содержание в вяжущем добавки, %	$S_{\text{уд}}$ добавки, $\text{см}^2/\text{Г}$	Изменение прочности образцов ($20 \times 20 \times 20$ мм) при твердении в нормально-влажностных ($t \sim (20 \pm 3)^\circ\text{C}$; $\phi \geq 90\%$) условиях, МПа, в возрасте, сут.				Относительная прочность цементного камня, %	
		1	3	7	28	28 сут	Пропаривание**
0	—	29,2	38,8	50,5	66,5	100,0	100,0
10	3000	38,1/41,0*	43,3/45,1*	54,7/57,3*	70,1/75,0*	105,4	108,0
15	3000	44,1/45,8*	51,7/55,0*	63,4/66,0*	80,8/85,5*	121,5	—
20	3000	43,2/44,0*	49,8/52,2*	60,8/61,4*	79,8/81,3*	120,0	118,0
30	3000	35,0/37,5*	44,0/46,4*	52,8/55,6*	66,6/70,2*	100,2	102,0
50	3000	19,0/20,8*	32,5/35,0*	39,3/41,2*	42,7/46,6*	64,2	94,0
10	6000	34,4	40,1	49,9	66,0	99,2	—
15	6000	34,5	40,9	52,1	67,0	100,8	—
20	6000	30,0	42,5	44,0	67,4	101,3	—
30	6000	28,8	33,8	45,3	59,4	89,3	—
10	9000	33,1	38,0	49,1	65,3	98,2	—
15	9000	32,2	37,7	50,4	65,5	98,5	—
20	9000	32,1	36,5	49,0	65,5	98,5	—
30	9000	27,5	33,1	43,5	55,1	82,9	—

* При твердении образцов в воде.

** В возрасте 24 ч после пропаривания и остывания по режиму: 3 + 3 (до $t \sim (80-85)^\circ\text{C}$) + 6 + 3 + 9 ч (остывание после распулбки и испытания).

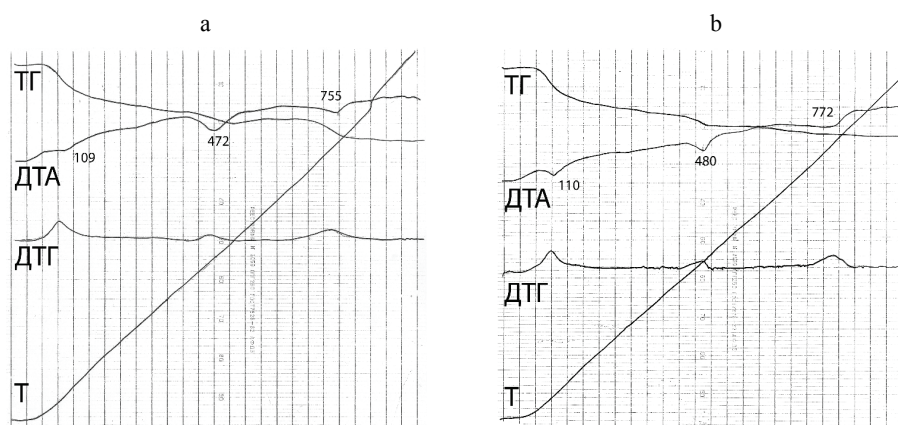


Рис. 2. Дериватограмма пробы цементного камня без добавки (а) и цементного камня с 20 % добавки гранитного отсева (б) (возраст 28 сут., нормально-влажностные условия твердения)

Fig. 2. Derivatogram of sample for cement stone without additive (a) and cement stone with 20 % of granite screening additive (b) (age 28 days, normal-humidity conditions of hardening)

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что дериватограммы «чистого» цемента и проб с 5–25 % молотого отсева (во всех случаях $S_{уд} \sim 3000 \text{ см}^2/\text{г}$) характеризуются наличием общих эндотермических «пику» на графиках ДТА. Это свидетельствует об идентичности продуктов разложения (новообразований) цементного камня, т. е. об отсутствии дополнительных химических реакций между цементом, продуктами его гидролиза-гидратации и веществом гранитной породы. Можно предположить, что причины роста прочности цементного камня при дозировке добавки до 25 % (а цементно-песчаного раствора – до 15–20 %, табл. 3) связаны с физическо-химическими аспектами активизации процесса твердения вяжущего. Этот вывод подтверждает определение площади эндотермического эффекта при температуре $\geq 600^\circ\text{C}$ между графиками ДТА и касательной к нему, которая для проб с добавкой $\sim(10\text{--}15)\%$ превышает таковую для «чистого» цемента (рис. 2а, б), что связано с большим количеством разлагающихся под действием температуры новообразований в пробах с минеральной добавкой.

Отсутствие новых химических образований в пробах твердевшего в нормально-влажностных условиях и после пропаривания цементного камня (как в процессе его твердения, так и к 28 сут.) подтвердили результаты рентгенофазового анализа проб без и с (5–30) % добавки. Здесь частично представлены данные проб цементного камня в возрасте 28 сут. (нормально-влажностное твердение), приготовленных из теста нормальной густоты на «чистом» цементе (рис. 3а) и с 20 % молотого гранитного отсева (рис. 3б).

Несколько большая плотность рентгенограмм проб с добавкой связана с дополнительным «наложением» рентгенограммы собственно вещества гранитной породы (здесь не приведена). При этом интенсивность отражений клинкерных минералов цемента к 28-суточному возрасту в пробах с добавкой гранитного отсева существенно уменьшилась по сравнению с «чистым» цементом, что свидетельствует об углублении реакций гидратации вяжущего в присутствии добавки.

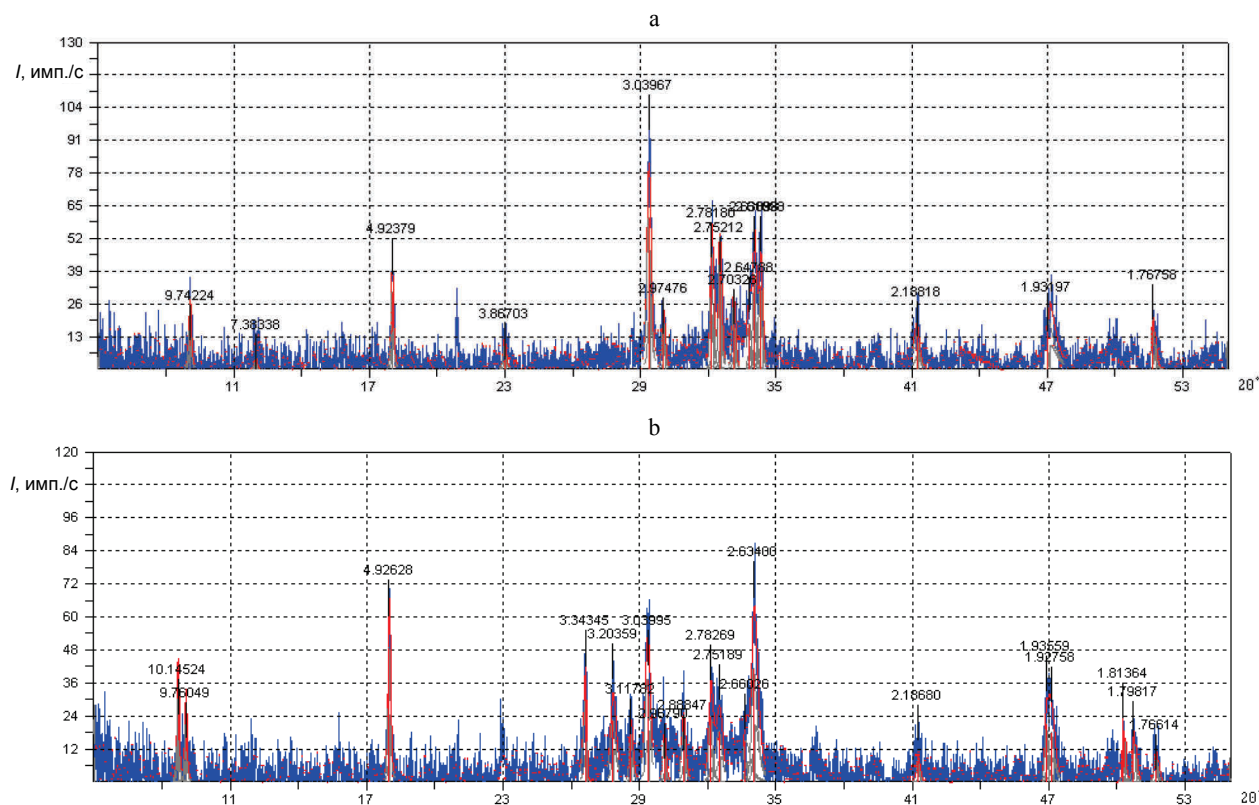


Рис. 3. Дифрактограмма пробы цементного камня без добавки (а) и с 20 % добавки гранитного отсева (б) (28 сут. нормально-влажностного твердения)

Fig. 3. Diffractogram for sample of cement stone without additive (a) and with 20 % of granite screening additive (b) (28 days, normal-humidity hardening)

В целом, по данным рентгенофазового анализа, в составах проб цементного камня на чистом портландцементе и проб с молотым гранитным отсеком в разные сроки твердения (в нормальных условиях и при пропаривании) выявлены только новообразования, характерные для твердения типичного портландцемента.

Факт углубления реакций гидратации клинкерной составляющей цемента и, следовательно, большего количества новообразований в цементном камне, как базы роста прочности, подтверждают данные о количестве химически связанной воды и степени гидратации цемента (табл. 5).

Очевидно, что в пределах 20%-й дозировки минеральная добавка в цемент ($S_{уд} \sim 3000 \text{ см}^2/\text{г}$) не вызывает существенных изменений в степени гидратации, определенной для общей массы вяжущего, но при этом значительно возросла фактическая степень гидратации его клинкерной составляющей. Так, для цемента с 20 % добавки она возросла относительно «общей массы вяжущего» с 65,8 до 76,0 %, а по количеству химически связанной клинкерной частью цемента воды – на $(17,2-15,1) : 15,1 \sim 0,1391$, или на 14 %. По нашему мнению, причины этого явления кроются в углублении реакций гидратации клинкерной части вяжущего, выявленном дериватографическим и рентгенофазовым анализами аналогичных проб.

Обобщая полученные данные о росте прочности цементного камня, приготовленного на вяжущем с добавкой молотого гранитного отсева, а также результаты дериватографического и рентгенофазового анализов и оценки количества химически связанной воды в пробах цементного камня, отобранных из этих серий его образцов, приходим к следующему выводу. Очевидно, что дисперсные частицы гранитной породы размерами (как мы считаем на основе данных анализа гранулометрии (рис. 1а, б) про-

дукта помола) до 0,3 мкм ($\leq 3000 \text{ \AA}$), содержание которых в материале, измельченном до $S_{уд} \sim 3000-9000 \text{ см}^2/\text{г}$, практически одинаково и составляет до ~15 % по массе, выступают в качестве центров кристаллизации. То есть понижают энергетический порог начала образования кристаллогидратов в реагирующей системе «цемент – вода», чем способствуют ускорению процесса их образования, росту их количества и формированию более плотной и прочной структуры цементного камня с их участием [7–15]. Об этом свидетельствует рост прочности цементного камня с оптимальным количеством (~(15–20) %) при рациональной тонкости помола ($S_{уд} \sim 3000 \text{ см}^2/\text{г}$) минеральной добавки, но при отсутствии признаков химического взаимодействия ее вещества с продуктами гидролиза-гидратации клинкерной части вяжущего.

С целью подтверждения гипотезы об «эффекте центров кристаллизации» в цементное тесто вводили добавку-пластификатор IV группы – лигносульфонат технический (ЛСТ), в количестве 0,3 % от массы цемента для замедления процессов его гидратации и твердения, так как молекулы этого вещества «жестко» (до хемосорбции) адсорбируются на зернах цемента. При этом исходили из предположения, что если имеет место эффект центров кристаллизации от тонкодисперсных фракций минеральной добавки, то он во всех случаях проявит себя в темпе роста прочности цементного камня на вяжущем с добавкой молотого гранитного отсева, что подтвердили результаты данного эксперимента (рис. 4).

Таким образом, по совокупности данных, включая результаты дериватографического и рентгенофазового анализов, оценку количества химически связанной воды, кинетику роста прочности цементного камня в нормально-влажностных и водных условиях.

Таблица 5

Данные о количестве химически связанной воды и степени гидратации цемента
Data on amount of chemically-bound water and degree of cement hydration

Вид вяжущего	Количество химически связанной воды, %, относительно		Степень гидратации, %, относительно	
	общей массы вяжущего	клинкерной части вяжущего	общей массы вяжущего	клинкерной части вяжущего
Без минеральной добавки	15,1	15,1	66,5	–
С 10 % минеральной добавки	15,0	16,7	67,0	73,5
С 20 % минеральной добавки	13,8	17,2	65,8	76,0
С 30 % минеральной добавки	12,5	17,9	55,1	78,6

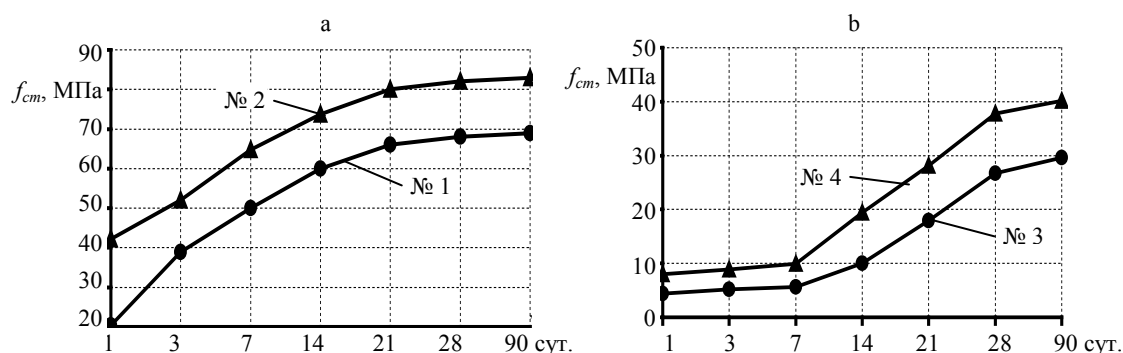


Рис. 4. Кинетика роста прочности цементного камня: а – для образцов без лигносульфоната технического (ЛСТ) (№ 1 – на вяжущем без минеральной добавки; № 2 – с 15 % молотого гранитного отсева); б – для образцов с 0,3 % ЛСТ от массы цемента (№ 3 – на вяжущем без минеральной добавки; № 4 – с 15 % молотого гранитного отсева)

Fig. 4. Kinetics of strength growth for cement stone: а – for samples without technical lignosulfonate (LST) (No 1 – on binder without mineral additive; No 2 – with 15 % of grinded granite screening); б – for samples with 0.3 % LST from cement mass (No 3 – on binder without additives; No 4 – with 15 % of grinded granite screening)

Также в варианте замедления реакций взаимодействия цемента с водой, за счет введения в повышенной дозировке лигносульфоната технического, можно считать обоснованным вывод о наличии и эффективности активных центров кристаллизации, которую проявляет тонкодисперсная составляющая ($\leq 0,3$ мкм (≤ 3000 Å) молотого гранитного отсева в его оптимальной (15–20)%-й дозировке при тонкости помола $S_{уд} \sim 3000$ см²/г.

Анализ приведенных в статье данных, а также материалов, относящихся к оценке физико-механических свойств конструкционного цементного бетона классов $C^{12}/_{15}-C^{32}/_{40}$, приготовленного на цементе с 20 % минеральной добавки молотого гранитного отсева [13–16], позволяет сделать следующие выводы.

ВЫВОДЫ

1. Эффективность добавки диспергированной гранитной породы (молотого совместно с клинкером и гипсом гранитного отсева) в цемент базируется на физико-химическом эффекте «центров кристаллизации», который проявляют ультрадисперсные фракции продукта помола отсева и взаимосвязан с рациональной тонкостью помола вяжущего ($S_{уд} \sim 3000-3100$ см²/г.) и дозировкой минеральной добавки (до 20 % массы цемента).

2. Экспериментальная оценка физико-механических характеристик тяжелого конструкционного бетона, определенных для наиболее широко используемых в строительстве классов $C^{12}/_{15}-C^{32}/_{40}$ (диапазон прочности на сжатие $\sim 20-52$ МПа), показала практическое соответствие прочности на сжатие (кубиковой, призмной), статического модуля упругости, деформативности при изгибе и усадке аналогичным показателям образцов бетона, приго-

товленного на бездобавочном цементе с соблюдением правила «прочих равных условий».

3. Экспериментально определенные эксплуатационные свойства бетона на разрабатываемом вяжущем – водопоглощение и водонепроницаемость, водостойкость (в условиях переменного увлажнения-высушивания), соле- и морозостойкость, защитная способность по отношению к стальной арматуре и другие – подтвердили возможность использования цемента с 20 % минеральной добавки молотой гранитной породы в бетоне и железобетоне общестроительного назначения без ограничений.

4. Согласно данным, представленным ОАО «Кричевцементношифер», которое выпустило 93,8 тыс. т вяжущего с минеральной добавкой молотого гранитного отсева, удельный экономический эффект оценивается примерно в 4,0 руб./т цемента, что подтверждает экономическую выгоду от использования разработки как в производстве вяжущего, так и при производстве изделий и конструкций для строительной отрасли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Демьянова, В. С. Рациональное использование отходов камнедробильного производства в технологии смешанных вяжущих / В. С. Демьянова, Н. М. Дубошина, Г. Д. Фадеева // Промышленное и гражданское строительство. 1999. № 10. С. 33–35.
2. Реакционная активность измельченных горных пород в цементных композициях / В. И. Калашников [и др.] // Известия Тульского государственного университета. 2004. № 7. С. 26–33.
3. Демьянова, В. С. Дисперсно-наполненные клинкерные цементы на основе отходов камнедробления / В. С. Демьянова, В. И. Калашников, Г. Н. Казина // Известия вузов. Строительство. 2006. № 5. С. 30–36.
4. Демьянова, В. С. Об использовании дисперсных наполнителей в цементных системах / В. С. Демьянова, В. И. Калашников, А. А. Борисов // Жилищное строительство. 1999. № 1. С. 17–18.

5. Модифицирование высокопрочного бетона комплексными ультрадисперсными наполнителями / В. С. Демьянова [и др.] // Бетон и железобетон в третьем тысячелетии: материалы III Междунар. науч.-практ. конф. Ростов на/Д.: Изд-во Рост. гос. строит. ун-та, 2004. Т. 1. С. 160–164.
 6. Бетоны нового поколения на основе сухих тонкозернисто-порошковых смесей / В. И. Калашников [и др.] // Инженерно-строительный журнал. 2012. Т. 34, № 8. С. 47–53.
 7. Тейлор, Х. Химия цемента. Пер с англ. / Х. Тейлор М.: Мир, 1996. 560 с.
 8. Ратинов, В. Б. Добавки в бетон. / В. Б. Ратинов, Т. И. Розенберг. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1989. 188 с.
 9. Соломатов, В. И. Пути активации наполнителей композиционных строительных материалов / В. И. Соломатов, Л. И. Дворкин, И. М. Чудновский // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1987. № 1. С. 61–63.
 10. Красный, И. М. О механизме повышения прочности бетона при введении микронаполнителя / И. М. Красный // Бетон и железобетон. 1987. № 5. С. 10–11.
 11. Роль ультрадисперсных добавок в процессах гидратации / Г. И. Яковлев [и др.] // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI в. 2009. Т. 124, № 5. С. 18.
 12. Ушеров-Маршак, А. В. Бетонovedение: современные этюды / А. В. Ушеров-Маршак. Харьков: Раритеты Украины, 2016. 135 с.
 13. Смоляков, А. В. Технологические свойства бетонных смесей и прочность бетона с добавкой в виде молотого гранитного отсева / А. В. Смоляков, Э. И. Батыновский, А. А. Дрозд // Строительная наука и техника. 2009. № 2. С. 49–57.
 14. Смоляков, А. В. Использование гранитного отсева в цементе и конструкционном бетоне / А. В. Смоляков, П. Л. Федорович, Э. И. Батыновский // Проблемы современного бетона и железобетона: материалы III Междунар. симп., 9–11 нояб. 2011 г.: в 2 т. Минск: Минсктиппроект, 2011. Т. 2: Технология бетона. С. 438–451.
 15. Смоляков, А. В. Свойства бетона на портландцементе с гранитным отсеком (ПЦГ) / А. В. Смоляков, Э. И. Батыновский // Вопросы внедрения норм проектирования и стандартов европейского союза в области строительства: сб. науч.-техн. статей: в 2 т. Минск, 2013. Т. 2. С. 173–184.
 16. Смоляков, А. В. Эффективная переработка гранитного отсева РУПП «Гранит» / А. В. Смоляков, А. А. Дрозд, Э. И. Батыновский // Современные проблемы внедрения европейских стандартов в области строительства: сб. Междунар. науч.-техн. статей: в 2 т. Минск, 2015. Т. 2. С. 143–149.
- Поступила 30.03.2018
Подписана в печать 04.06.2018
Опубликована онлайн 27.07.2018
- ### REFERENCES
1. Demyanova V. S., Duboshina N. M., Fadeeva G. D. (1999) Rational Usage of Wastes in Stone Breaking Production while Applying Technologies of Mixed Binding Materials. *Promyshlennoye i Grazhdanskoye Stroitel'stvo = Industrial and Civil Engineering*, (10), 33–35 (in Russian).
 2. Kalashnikov V. I., Dem'yanova V. S., Kalashnikov S. V., Kuznetsov Yu. S. (2004) Reaction Activity of Broken Crushed Rock Materials in Cement Compositions. *Izvestiya Tul'skogo Gosudarstvennogo Universiteta = Izvestiya Tula State University*, (7), 26–33 (in Russian).
 3. Demyanova V. S., Kalashnikov V. I., Kazina G. N. (2006) Disperse-Filled Clinker Cement on the Basis of Stone Breaking Wastes. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Stroitel'stvo = News of Higher Educational Institutions. Construction*, (5), 30–36 (in Russian).
 4. Demyanova V. S., Kalashnikov V. I., Borisov A. A. (1999) On Application of Disperse Fillers in Cement Systems. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo*, (1), 17–18 (in Russian).
 5. Demyanova V. S., Kalashnikov V. I., Minenko E. Yu., Kazina G. N. (2004) Modification of High-Strength Concrete while Using Complex Ultra-Disperse Fillers. *Beton i Zhelezobeton v Tret'em Tysyacheletii: Materialy III Mezhdunar. Nauch.-Prakt. Konf. T. 2*. [Concrete and Reinforced-Concrete in the III Millennium: Proceedings of the III Scientific and Practical Conference. Vol. 1]. Rostov-on-Don, Publishing House of Rostov State University of Civil Engineering, 160–164 (in Russian).
 6. Kalashnikov V. I., Tarakanov O. V., Kuznetsov Yu. S., Volodin V. M., Belyakova E. A. (2012) Next Generation Concrete on the Basis of Fine-Grained Dry Powder Mixes. *Magazine of Civil Engineering*, 34 (8), 47–53. <https://doi.org/10.5862/mce.34.7>.
 7. Taylor H. F. W. (1997) *Cement Chemistry*. Thomas Telford. 459. <https://doi.org/10.1680/cc.25929>.
 8. Ratinov V. B., Rozenberg T. I. (1989) *Additives for Concrete*. 2nd ed. Moscow, Stroyizdat Publ. 188 (in Russian).
 9. Solomатов V. I., Dvorkin L. I., Tchudnovsky I. M. (1987) Recommendations for Activation of Fillers in Composite Construction Materials. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Stroitel'stvo i Arkhitektura* [News of Higher Education Institutions. Construction and Architecture], (1), 61–63 (in Russian).
 10. Krasny I. M. (1987) On Mechanism for Improvement of Concrete Strength while Adding Micro-Filler. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced-Concrete], (5) 10–11 (in Russian).
 11. Yakovlev G. I., Pervushin G. N., Tokarev Yu. V., Bur'yakov A. F., Kerene Ya. (2009) Role of Ultra-Disperse Additives in Hydration Processes. *Stroitelnye Materialy, Oborudovanie, Tekhnologii XXI Veka = Construction Materials, the Equipment, Technologies of XXI Century*, 124 (5), 18 (in Russian).
 12. Usherov-Marshak A. V. (2016) *Concrete science: Modern Essays*. Kharkov: Publishing House "Rarity Ukraine". 135 (in Russian).
 13. Smolyakov A. V., Batyanovsky E. I., Drozd A. A. (2009) Technological Properties of Concrete Mixes and Strength of Concrete with Additive in the Form of Crushed Stone Screening Dust. *Stroitel'naya Nauka i Tekhnika* [Construction Science and Equipment], (2), 49–57 (in Russian).
 14. Smolyakov A. V., Fedorovich P. L., Batyanovsky E. I. (2011) Usage of Stone Screening Dust in Cement and Construction Concrete. *Problemy Sovremennogo Betona i Zhelezobetona: Materialy III Mezhdunar. Simp., 9–11 Noyab. 2011 g. T. 2: Tekhnologiya Betona* [Problems of Modern Concrete and Reinforced Concrete: Proceedings of the III International Symposium, November 9–11, 2011. Vol. 2: Technology of Concrete]. Minsk, Minskipproekt Publ., 438–451 (in Russian).
 15. Smolyakov A. V., Batyanovsky E. I. Properties of Concrete Based on Portland Cement with Stone Screening Dust / Questions of Introduction for Design Specifications and Standards of European Union in the Field of Construction: Collection of Scientific and Technical Papers. In 2 Volumes. Minsk, 2013. Vol. 2. 173–184.
 16. Smolyakov A. V., Drozd A. A., Batyanovsky E. I. (2015) Efficient Processing of Stone Screening Dust by RUME [Republican Unitary Manufacturing Enterprise] "Granit". *Sovremennye Problemy Vnedreniya Evropeiskikh Standartov v Oblasti Stroitel'stva: Sb. Mezhdunar. Nauch.-Tekhn. Statei. T. 2* [Modern Problems in Introduction of European Standards in the Field of Construction: Collection of Scientific and Technical Papers. Vol. 2]. Minsk, 143–149 (in Russian).

Received: 30.03.2018

Accepted: 04.06.2018

Published online: 27.07.2018

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-4-306-313>

УДК 697.92

Нормирование воздухообмена в помещениях и энергоэффективность жилых зданий

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

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

© Белорусский национальный технический университет, 2018
Belarusian National Technical University, 2018

Реферат. Политика энергосбережения, проводимая во всем мире и в Беларуси в частности, ведет к пересмотру технических нормативно-правовых актов по теплозащите зданий. Постепенное увеличение сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций снижает трансмиссионные потери теплоты, однако затраты на нагрев инфильтрующегося воздуха остаются неизменными, ввиду чего их доля в общем тепловом балансе жилых зданий постепенно растет: до тепловой реабилитации здания доля составляет 30 %, после – 53 %. Для поиска способов снижения потерь теплоты с вентиляционным воздухом рассмотрено происхождение текущей нормы приточного воздуха, которая составляет 3 м³/ч на 1 м² жилой площади. Показано, что данная величина определена исходя из требуемого для ассимиляции углекислого газа воздухообмена и нормы жилой площади на одного человека. В связи с улучшением жилищных условий населения и увеличением обеспеченности жилой площадью требуемый воздухообмен может быть уменьшен до 1,5 м³/(ч·м²). Расчеты показывают, что данное снижение ведет к увеличению класса по энергоэффективности здания и уменьшению доли потерь теплоты на нагревание приточного воздуха в общем балансе теплоты. Также показано, что рациональным размещением по сторонам света можно добиться снижения удельного показателя расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию жилого здания. Одновременно с определением расхода приточного воздуха было рассмотрено определение расхода вытяжного воздуха для кухонь. Установлено, что для поддержания процесса горения и удаления продуктов сгорания расход удаляемого воздуха должен составлять 10–20 м³/ч в зависимости от типа газовой плиты. Ввиду того что окна не могут поддерживать ни предлагаемый, ни тем более действующий воздухообмен, они должны обязательно комплектоваться приточными клапанами.

Ключевые слова: воздухообмен, инфильтрация, теплопотери, жилые здания, энергоэффективность, класс энергоэффективности

Для цитирования: Борухова, Л. В. Нормирование воздухообмена в помещениях и энергоэффективность жилых зданий / Л. В. Борухова, А. С. Шибeko // *Наука и техника*. 2018. Т. 17, № 4. С. 306–313. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-4-306-313>

Introduction of Norms for Air Exchange in Rooms and Energy Efficiency of Residential Buildings

L. V. Borukhava¹⁾, A. S. Shybeka¹⁾

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

Abstract. Energy saving policy conducted all over the world and in Belarus, particularly, leads to revision of technical standard and legal acts on thermal protection of buildings. Gradual increase of resistance to heat transfer of enclosing structures reduces transmission heat losses however expenses on infiltration air heating remain unchangeable. Due to this their portion in overall heat balance of residential buildings is gradually increasing: up to thermal rehabilitation of a building the portion constitutes 30 %, after this process the portion is equal to 53 %. In order to find methods for reduction of heat losses the paper considers an origin of the current standard for inlet air which is equal to 3 m³/h per 1 m² of residential area. It has been shown that the given value has been determined on the assumption of air exchange which is required for assimilation of carbon dioxide

Адрес для переписки

Шибeko Александр Сергеевич
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 150,
220014, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 265-97-29
tg_v_fes@bntu.by

Address for correspondence

Shybeka Aleksandr S.
Belarusian National Technical University
150 Nezavisimosty Ave.,
220014, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 265-97-29
tg_v_fes@bntu.by

and residential area standard per one person. The required air exchange can be reduced up to $1.5 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ due to improvement of population living conditions and increase in provision of residential area. Calculations have also shown that the given reduction makes it possible to enhance energy efficiency class of a building and decrease portion of heat losses on heating inlet air in overall heat balance. The paper has also revealed that rational light location on both sides permits to reduce a specific index of heat energy consumption for heating and ventilation of a residential building. Determination of outlet air consumption for kitchens has been considered simultaneously with determination of inlet air consumption. It has been ascertained that in order to support combustion process and removal of combustion products consumption of outlet air must constitute $10\text{--}20 \text{ m}^3/\text{h}$ according to type of gas stove. Due to the fact that windows can not support the proposed and existing air exchanges they must be completed with plenum valves.

Keywords: air exchange, infiltration, heat losses, residential buildings, energy efficiency, energy efficiency class

For citation: Borukhava L. V., Shybeka A. S. (2018) Introduction of Norms for Air Exchange in Rooms and Energy Efficiency of Residential Buildings. *Science and Technique*. 17 (4), 306–313. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-4-306-313> (in Russian)

Основная проблема при проектировании систем вентиляции и кондиционирования воздуха – низкая санитарно-гигиеническая эффективность систем при больших капитальных вложениях и энергозатратах.

С 1990-х гг. в Республике Беларусь проводится целенаправленная политика по снижению расхода тепловой и электрической энергии при эксплуатации зданий. С 1994 г. в несколько раз увеличено сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций, поэтому доля затрат на отопление снизилась, и дальнейшее увеличение уже не приводит к значительным снижениям энергозатрат без больших капитальных вложений. В связи с этим доля затрат на системы вентиляции и кондиционирования воздуха в структуре энергопотребления здания значительно возросла и имеет главное значение.

При проектировании систем вентиляции и кондиционирования воздуха зданий необходимо стремиться к снижению воздухообменов и затрат энергоресурсов на данные системы при обеспечении требуемых параметров микроклимата в помещениях.

Исследования, проведенные во многих странах, в том числе и в Беларуси [1], показывают, что для зданий без тепловой модернизации 42 % потерь теплоты происходит через стены, 7 % – через крышу, 5 % – через подвал, 16 % – через окна. На системы вентиляции приходится до 30 %. После утепления на крышу по-прежнему остается около 7 % теплопотерь, доля же стен уже значительно меньше – примерно 19 %. Доля подвала – на том же уровне, доля теплопотерь через окна вместо прежних 16 % составляет 14 %. А вот доля систем вентиляции теперь 53 %. Очевидно, решая

вопросы энергосбережения, следует работать в области создания более эффективных систем вентиляции зданий, т. е. использовать ту тепловую энергию, которая непозволительно щедро выбрасывается этими системами в атмосферу.

Повышение энергоэффективности зданий является одной из главных целей энергетической политики в республике.

В настоящее время снижение энергозатрат при эксплуатации жилых зданий достигается комплексом организационно-технических мероприятий:

- 1) утеплением оболочки здания;
- 2) оптимизацией архитектурно-планировочных решений и гармонизацией здания с особенностями климата района строительства, включающих выбор формы и ориентации здания, а также остекления с целью оптимального использования в тепловом и воздушном балансе положительного воздействия наружного климата и нейтрализации его неблагоприятного воздействия;
- 3) утилизацией теплоты вторичных энергетических ресурсов;
- 4) использованием энергии возобновляемых источников;
- 5) оптимизацией систем энергоснабжения, которая включает в себя:
 - совершенствование нормативной базы, методик расчета тепlopоступлений через остекление за счет солнечной радиации;
 - выбор светотехнических характеристик светопрозрачных конструкций и подбор оптимальных размеров конструктивных солнцезащитных устройств;
 - теоретически обоснованные методы при определении нормативной кратности воздухообмена в помещениях;

– научно обоснованные санитарно-гигиенические нормы наружного воздуха на человека; рациональные схемы организации воздухообмена и эффективного воздухораспределения в помещениях;

– применение комбинированных систем вентиляции: естественной и механической, при минимизации или отсутствии системы кондиционирования воздуха;

б) установкой энергосберегающего оборудования и др.

В современном жилом доме большую часть суммарных расчетных тепловых потерь составляют потери на нагрев infiltrирующего в помещение воздуха. Для жилого 9-этажного дома основные и добавочные (трансмиссионные) тепловые потери через ограждающие конструкции составляют около 40 %, на нагрев приточного воздуха – 60 % (сопротивления теплопередаче приняты равными нормативным). Сравнение доли каждого вида потерь теплоты в зависимости от требований по теплозащите, согласно ТНПА, при нормативных (для [5] – требуемых) значениях сопротивления теплопередаче приведено на рис. 1.

Анализируя диаграммы, можно заметить, что доля потерь теплоты на нагрев infiltrирующего воздуха росла, так как при этом уменьшалась величина трансмиссионных тепловых потерь из-за ужесточения норм по теплозащите (увели-

чение нормативного сопротивления теплопередаче).

Поэтому с точки зрения энергоэффективности существуют различные подходы для уменьшения тепловых потерь на нагрев приточного воздуха. Первый подход заключается в проектировании централизованной приточно-вытяжной вентиляции в жилых зданиях, что приводит к увеличению капитальных (стоимость вентиляционного оборудования, воздуховодов и их устройству) и эксплуатационных (электроэнергия для привода вентиляторов) затрат.

В настоящее время жилые здания в Республике Беларусь в большинстве случаев оборудованы естественной системой вентиляции: приток – неорганизованный через неплотности в ограждениях, вытяжка – канальная (каналы в стенах, приставные каналы, унифицированные вентиляционные блоки). Рассмотрим, можно ли сократить затраты тепловой энергии на нагрев infiltrирующего воздуха без применения централизованных систем вентиляции.

Для начала необходимо поставить под сомнение существующую величину нормативного воздухообмена в жилых зданиях [6, 7] – 3 м³/ч на 1 м² площади пола жилой комнаты. Данная величина рассчитана на основании исследований немецкого гигиениста Карла Флюгге (1847–1923 гг.) и определяется исходя из расхода воздуха, который требуется для ассимиляции углекислого газа.

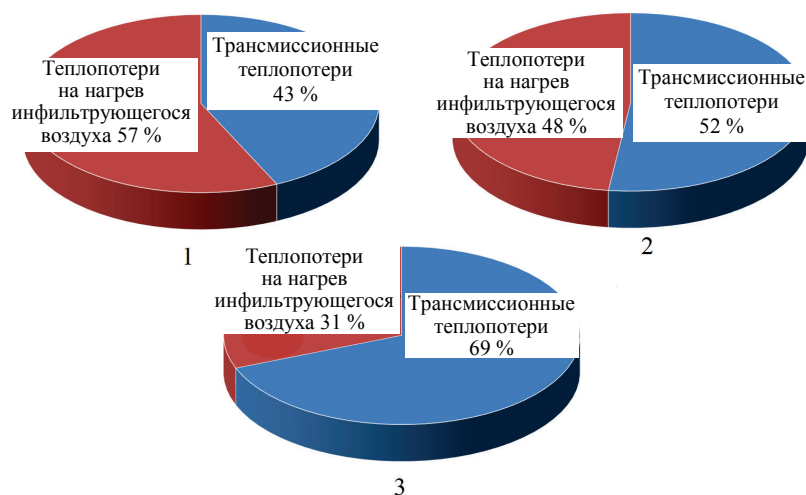


Рис. 1. Структура энергопотребления жилого здания согласно:

1 – действующим нормативам по теплозащите [2]; 2 – [3, 4]; 3 – [5]

Fig. 1. Structure of energy consumption for residential building according to:

1 – current standards for thermal protection [2]; 2 – [3, 4]; 3 – [5]

В общем виде формула для определения данного расхода имеет вид

$$L = \frac{m_{\text{CO}_2}}{q_{\text{уд}} - q_{\text{пр}}}, \quad (1)$$

где m_{CO_2} – количество углекислого газа, выделяемое одним человеком, г/ч, зависящее от категории работ (табл. 1); $q_{\text{уд}}$, $q_{\text{пр}}$ – концентрации CO_2 в удаляемом и приточном воздухе соответственно, г/м³.

К. Флюгге [9] принял, что выделение углекислого газа одним человеком составляет 21,6 л/ч (40 г/ч), концентрация углекислого газа в наружном воздухе 0,04 % (0,73 г/м³), а допустимая концентрация в жилой комнате 0,01 % (1,83 г/м³). Тогда требуемый расход воздуха: $40/(1,83 - 0,73) = 36$ м³/ч на человека. Исходя из нормы площади на одного человека в СССР (12 м²), получаем $36/12 = 3$ м³/(ч·м²), т. е. существующую норму приточного воздуха для жилых зданий.

Таблица 1
Выделение CO_2 одним человеком [8]
 CO_2 release by one person [8]

Категория работы	Выделение CO_2 , г/(ч·чел.)
Состояние покоя	40
Легкая работа	45
Работа средней тяжести	60
Тяжелая работа	90

Следует отметить, что в нормативных документах Республики Беларусь не приводятся требования к содержанию двуокиси углерода во внутреннем воздухе. Поэтому будем опираться на западные и российские нормативы.

Согласно исследованиям западных ученых, которые вошли [10, 11], предъявляются следующие требования к концентрации углекислого газа во внутреннем воздухе: допустимо приемлемое содержание 1000 ppm (частей на миллион), или 0,1 % (1,83 г/м³). Содержание CO_2 в наружном воздухе согласно российским нормативам приведены в табл. 2.

Исходя из данных табл. 2, получен требуемый расход воздуха на одного человека (табл. 3). Как видно из табл. 3, для сельской местности расходы совпадают, для малых городов практически совпадают, для больших городов расходятся на 20 %. Нормы НП «АВОК» (табл. 2 [13]) рекомендуют минимальный воздухообмен для жилой зоны 30 м³/ч на одного человека. Исходя из

данных табл. 3, с достаточной степенью точности можно принять расход воздуха 40 м³/(ч·чел.), как удовлетворяющий требованиям для удаления углекислого газа.

Таблица 2

Концентрация двуокиси углерода
в наружном воздухе [12, 13]

Concentration of carbon dioxide in outdoor air [12, 13]

Тип местности	Концентрация CO_2 , г/м ³ (ppm), согласно	
	ГОСТ Р ЕН 13779	СТО НП «АВОК» 2.1–2008
Сельская	0,64 (350)	0,65 (355)
Малые города	0,73 (400)	0,80 (437)
Большие города	0,82 (450)	1,00 (546)

Таблица 3

Требуемый воздухообмен
для удаления углекислого газа

Required air exchange for removing carbon dioxide

Тип местности	Требуемый воздухообмен $L_{\text{тр}}$, м ³ /(ч·чел.), согласно	
	ГОСТ Р ЕН 13779	СТО НП «АВОК» 2.1–2008
Сельская	34	34
Малые города	36	39
Большие города	40	48

Однако сегодня в Республике Беларусь на одного человека не приходится 12 м² жилой площади. Согласно данным Статистического ежегодника [14], жилая площадь с 1990 по 2016 г. возросла с 182,4 до 254,4 млн м², а обеспеченность – с 17,9 до 26,8 м² на жителя. Таким образом, нормативный расход воздуха должен составлять $40/26,8 \approx 1,5$ м³/ч на 1 м² жилой площади, т. е. снизиться в два раза. Это повлечет и уменьшение расхода теплоты на отопление.

Для количественного сравнения произведем расчет класса жилого здания по показателю удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию в отопительном периоде согласно ТКП 45-2.04-0196–2010* [15]. В качестве примера рассмотрим панельное 9-этажное здание с широтной ориентацией фасадов, расположенное в г. Минске. Главный фасад ориентирован на север. Прочие данные для расчета приведены в табл. 4.

Производя расчет для данного здания, было установлено, что при нормативном воздухообмене 3 м³/ч на 1 м² жилой площади показатель удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию в отопительном периоде соста-

вит $q_e^{des} = 161,8$ МДж/м², что соответствует классу В (для 9-этажного здания значение показателя для класса В должно быть 108–173 МДж/м²), а при нормативном воздухообмене 1,5 м³/(ч·м²) – $q_e^{des} = 93,6$ МДж/м², что соотносится с классом А (86–108 МДж/м²). Таким образом, без применения каких-либо дополнительных вентиляционных агрегатов и изменения конструкций здания произошло уменьшение показателя удельного расхода в 1,7 раза. Для прочих ориентаций главного фасада значения показателя q_e^{des} приведены в табл. 5. Соотношение расчетных теплотерь для данного здания, полученное согласно [7], показано на рис. 2.

Анализируя значения в табл. 5, можно заметить, что добиться снижения расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания

также возможно за счет рационального размещения здания по сторонам света.

В связи с вышеизложенным, необходимо определить выполнение нормы по удалению воздуха. СНБ 3.02.04–03* [6] дает двойкий подход к определению расчетного воздухообмена: для жилых комнат – 3 м³/ч на 1 м² пола, который учитывается в тепловом балансе; для кухонь, санузлов, ванных – от 110 до 140 м³/ч (из санузла и ванной должно удаляться по 25 м³/ч, расход удаляемого воздуха для кухни зависит от типа плиты и составляет 60 м³/ч для электрических и газовых двухконфорочных плит, 75 м³/ч – для газовых трехконфорочных плит, 90 м³/ч – для газовых четырехконфорочных плит), который учитывается при расчете вентиляции. Как отмечено в п. 4.2 [16], данное различие не имеет физического обоснования.

Таблица 4

Исходные данные для расчета

Input data for calculation

Показатель		Фактическое значение
Город строительства		Минск
Расчетная температура внутреннего воздуха t_{int} , °С		18
Расчетная температура воздуха в техническом подполье t_c , °С		5
Расчетная температура наружного воздуха t_{ext} , °С		–24
Средняя температура наружного воздуха за отопительный период t_{ht} , °С		–0,9
Продолжительность отопительного периода Z_{ht} , сут.		198
Средняя скорость ветра за отопительный период v_{ht} , м/с		3,0
Наружные двери	общая площадь A_{ed} , м ²	5,04
	приведенное сопротивление теплопередаче R'_{ed} , м ² ·К/Вт	0,48
Окна	общая площадь A_F , м ²	349,74
	в том числе:	
	ориентированных на юг A_F^S , м ²	213,12
	ориентированных на север A_F^N , м ²	136,62
	приведенное сопротивление теплопередаче R'_F , м ² ·К/Вт	1,00
Наружные стены	общая площадь A_W , м ²	1898,70
	приведенное сопротивление теплопередаче R'_W , м ² ·К/Вт	3,20
Чердачное перекрытие	общая площадь A_c , м ²	334,96
	приведенное сопротивление теплопередаче R'_c , м ² ·К/Вт	6,00
Перекрытие над техническим подпольем ($n = 0,31$)	общая площадь A_f , м ²	334,96
	приведенное сопротивление теплопередаче R'_f , м ² ·К/Вт	1,87
Общая площадь внутренних поверхностей наружных ограждающих конструкций A_e^{sum} , м ²		2923,40
Площадь жилых помещений A_l , м ²		1332,72
Площадь кухонь A_k , м ²		424,08
Отапливаемая площадь A_h , м ²		2976,24
Отапливаемый объем V_h , м ³		8943,40

Таблица 5

Показатель удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию в отопительном периоде при различных ориентациях главного фасада

Specific consumption index of thermal energy for heating and ventilation during heating season at various orientations of main facade

Ориентация фасада	Значение q_e^{des} при норме воздухообмена, $\text{м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$	
	3,0	1,5
С	161,8	93,6
СВ	164,3	96,2
В	168,2	100,0
ЮВ	168,4	100,3
Ю	167,0	98,8
ЮЗ	168,1	99,9
З	168,3	100,1
СЗ	164,9	96,7

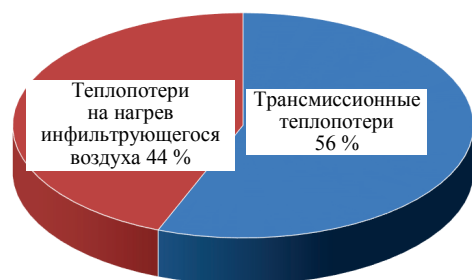


Рис. 2. Структура теплотерь жилого здания при норме воздухообмена $1,5 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$

Fig 2. Structure of heat losses for residential building with air exchange rate $1.5 \text{ м}^3/(\text{h} \cdot \text{м}^2)$

Не рассматривая определение воздухообмена ванных и санузла, определим требуемый воздухообмен для кухонь с газовыми плитами, сжигающих природный или сжиженный газ. Так как все районы Республики Беларусь газифицированы, то рассмотрим необходимое ко-

личество воздуха для поддержания горения, которое и будет минимальной нормой притока на кухню. Состав природного газа, транспортируемого по газопроводу «Торжок – Минск – Ивацевичи», приведен в табл. 6.

Рассчитав по известным формулам [8], получим, что расход воздуха, необходимый для горения 1 м^3 газа, составляет $L_d = 10,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Тепловая мощность газовых плит в соответствии с [18] следующая: двухконфорочных – 7,2 кВт, трехконфорочных – 9,3–10,2 кВт, четырехконфорочных – 12,4–13,3 кВт. Результаты расчетов по определению расхода газа плитами и требуемого расхода воздуха для поддержания горения приведены в табл. 7.

Минимальный расход вытяжного воздуха будет равен расходу удаляемых продуктов сгорания. Расход газов, образующихся при сгорании 1 м^3 природного газа, составит $11,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Значения расхода удаляемого воздуха приведены в табл. 7.

Как видно из табл. 7, расход удаляемого воздуха превышает требуемый расход приточного воздуха. На основании данных расчета, можно принять следующие минимальные значения воздухообмена: для кухонь с двухконфорочными газовыми плитами – $10 \text{ м}^3/\text{ч}$, с трехконфорочными – $15 \text{ м}^3/\text{ч}$ и с четырехконфорочными – $20 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Окна не могут обеспечить предлагаемый нормативный приток воздуха ($1,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 м^2 жилой площади), а тем более действующий ($3 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$), так как их нормативная воздухопроницаемость (согласно [1] – $10 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$) рассчитана на самые неблагоприятные условия (при температуре холодной пятидневки и максимальной из средних скоростей ветра по румбам в январе). Для обеспечения требуемого воздухообмена окна в обязательном порядке должны комплектоваться приточными клапанами.

Таблица 6

Состав природного газа [17]

Composition of natural gas [17]

Наименование газа	Содержание, % по объему	Наименование газа	Содержание, % по объему
Метан CH_4	97,756	Пентан C_5H_{12}	0,019
Этан C_2H_6	0,826	Углекислый газ CO_2	0,030
Пропан C_3H_8	0,254	Кислород O_2	0,070
Бутан C_4H_{10}	0,103	Азот N_2	0,942
Примечание. Низшая теплота сгорания $Q_n = 35922 \text{ кДж}/\text{м}^3$.			

Расчетные расходы газа плитами и требуемый расход воздуха для горения
Calculated gas consumption by gas stoves and required air consumption for combustion

Тип плиты	Расход газа, м ³ /ч	Требуемый расход воздуха для горения (минимальный расход приточного воздуха), м ³ /ч	Расход продуктов сгорания (минимальный расход удаляемого воздуха), м ³ /ч
Двухконфорочная	0,72	7,6	8,3
Трехконфорочная	0,93–1,02	9,8–10,7	10,7–11,7
Четырехконфорочная	1,24–1,33	13,0–14,0	14,3–15,3

ВЫВОДЫ

1. В современных зданиях основные потери теплоты происходят с удаляемым вентиляционным воздухом (согласно данным расчета, до 57 %). Это связано с увеличением сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций и неизменностью нормативного расхода приточного воздуха.

2. Существующая норма воздухообмена для помещений жилых зданий (3,0 м³/ч на 1 м² жилой площади) завышена для современных условий эксплуатации жилых зданий и завышает теплотери здания. В нынешних условиях значение нормы рационально принять равным 1,5 м³/(ч·м²). При этом удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию в отопительном периоде значительно уменьшается (для здания, рассчитанного в статье, – в 1,7 раза) и не потребуется устройство приточно-вытяжной механической системы вентиляции.

3. Добиться снижения удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию в отопительном периоде можно посредством рационального размещения здания по сторонам света.

4. Минимальный расход вытяжного воздуха для кухонь с газовыми плитами, рассчитанный исходя из поддержания горения и удаления продуктов сгорания, должен составлять: 10 м³/ч – для двухконфорочных, 15 м³/ч – для трехконфорочных и 20 м³/ч – для четырехконфорочных плит.

5. Для обеспечения требуемого воздухообмена в жилых зданиях окна должны комплектоваться приточными клапанами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пилипенко, В. М. Комплексная реконструкция индустриальной жилой застройки: организационно-техно-

логические основы / В. М. Пилипенко. Минск: Адукацыя і выхаванне, 2007. 280 с.

2. Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-2.04-43–2006* (02250). Взамен СНБ 2.04.01–96; введ. 01.07.2007. Минск: Минстройархитектуры, 2015. 47 с.
3. Строительная теплотехника: СНБ 2.04.01–97. Взамен СНБ 2.01.01–93; введ. 01.05.1998. Минск: Минстройархитектуры, 1998. 32 с.
4. Строительная теплотехника: СНБ 2.01.01–93. Введ. 01.01.1994 (с отменой на территории РБ СНиП II-3–79**). Минск: Госкомитет Респ. Беларусь по архит. и стр-ву, 1994. 29 с.
5. Строительная теплотехника: СНиП II-3–79**. Взамен главы СНиП II-A.7–71; введ. 01.07.1979. М. ЦИТП Госстроя СССР, 1986. 32 с.
6. Жилые здания: СНБ 3.02.04–03*. Взамен СНиП 2.08.01–89; введ. 01.01.2004. Минск: Минстройархитектуры, 2016. 23 с.
7. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: СНБ 4.02.01–03*. Введ. 01.01.2005 (с отменой на территории Респ. Беларусь СНиП 2.04.05–91). Минск: Минстройархитектуры, 2015. 77 с.
8. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование / Б. М. Хрусталева [и др.]; под. общ. ред. Б. М. Хрусталева. 3-е изд., испр. и доп. М.: Изд-во АСВ, 2008. 784 с.
9. Коммунальная гигиена / Е. И. Гончарук [и др.]; под. общ. ред. Е. И. Гончарука. Киев: «Здоров'я», 2006. 792 с.
10. Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustics: EN 15251–2007. Date Approved: 26.03.2007. Brussel: CEN, 2007. 50 p.
11. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality: ASHRAE Standart 62–1989 [Electronic resource]. Mode of Access: <https://ashrae.iwrapper.com>. Date of Access: 24.04.2016.
12. Вентиляция в нежилых зданиях. Технические требования к системам вентиляции и кондиционирования: ГОСТ Р ЕН 13779–2007. Введ. 01.10.2008. М.: Стандартинформ, 2008. 44 с.
13. Здания жилые и общественные. Нормы воздухообмена: СТО НП «АВОК» 2.1–2008. Введ. 01.06.2004. М.: НП «АВОК», 2008. 16 с.
14. Статистический ежегодник Республики Беларусь 2017: статистический сборник / И. В. Медведева [и др.]. Минск: Национальный статист. комитет Респ. Беларусь, 2017. 506 с.

15. Тепловая защита зданий. Теплоэнергетические характеристики. Правила определения: ТКП 45-2.04-196–2010* (02250). Введ. 09.01.2010. Минск: Минстрой-архитектуры, 2011. 27 с.
 16. Отопление и вентиляция жилых зданий: справочное пособие к СНиП. М.: Стройиздат, 1990. 24 с.
 17. Методика расчета выбросов диоксида углерода в атмосферу от котлов ТЭС и котельных: Методика 0212.16–99. Введ. 01.10.1999. [Электронный ресурс]: утв. приказом Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 25.08.1999, № 232 // Право Беларуси. Режим доступа: <http://www.lawbelarus.com/068492>.
 18. Внутренние санитарно-гигиенические устройства: в 3 ч. / Ю. Н. Саргин [и др.]; под ред. Н. Н. Павлова и Ю. И. Шиллера. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1990. Ч. 2. Водопровод и канализация. 247 с.
- Поступила 26.04.2018
Подписана в печать 28.06.2018
Опубликована онлайн 27.07.2018
- ### REFERENCES
1. Pilipenko V. M. (2007) *Complex Reconstruction of Industrial Residential Development: Organizational and Technological Fundamentals*. Minsk, Adukatsiya i Vykhanne Publ. 280 (in Russian).
 2. TKP [Technical Code of Common Practice] 45-2.04-43–2006* (02250). *Thermal Engineering for Construction. Design and Construction Standards. Replaced Construction Standards of the Republic of Belarus*. Minsk, Publishing House of Ministry of Architecture and Construction, 2015. 47 (in Russian).
 3. Construction Standards of the Republic of Belarus SNB 2.04.01–97. *Thermal Engineering for Construction*. Minsk, Publishing House of Ministry of Architecture and Construction, 1998. 32 (in Russian).
 4. Construction Standards of the Republic of Belarus SNB 2.01.01–93. *Thermal Engineering for Construction*. Minsk, Publishing House of State Committee of the Republic of Belarus on Architecture and Construction, 1994. 29 (in Russian).
 5. SNiP [Construction Rules and Regulations] II-3–79**. *Thermal Engineering for Construction*. Moscow, Publishing House of Central Institute of Standardized Design of USSR State Committee for Construction, 1986. 32 (in Russian).
 6. Construction Standards of the Republic of Belarus SNB 3.02.04–03*. *Residential Buildings*. Minsk: Publishing House of Ministry of Architecture and Construction, 2016. 23 (in Russian).
 7. Standards of the Republic of Belarus 4.02.01–03*. *Heating, Ventilation and Air Conditioning: Construction*. Minsk. Publishing House of Ministry of Architecture and Construction, 2015. 77 (in Russian).
 8. Khrustalev B. M., Kuvshinov Yu. Ya., Kopko V. M., Mikhalevich A. A., Dyachek P. I., Pokotilov V. V., Sen'kevich E. V., Borukhova L. V., Pilyushenko V. P., Bazylenko G. I., Yurkov O. I., Artikhovich V. V., Pshonik M. G. (2008) *Heating Supply and Ventilation. Course and Diploma designing*. 3rd ed. Moscow, ASV Publ. 2008. 784 (in Russian).
 9. Goncharuk E. I., Bardov V. G., Garkavii S. I., Yavorovskii A. P. (et. al.) (2006) *Environmental Sanitation*. Kiev, Publishing House "Zdorovya". 792 (in Russian).
 10. EN 15251–2007. *Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustics*. Date Approved: 26.03.2007. Brussel, CEN, 2007. 50.
 11. ASHRAE Standard 62–1989. *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. Available at: <https://ashrae.iwrap.com>. (Accessed 24 April 2016).
 12. GOST [All-Union State Standard] P EH 13779–2007. *Ventilation in Non-Residential Buildings. Technical Requirements to Systems of Ventilation and Conditioning*. Moscow, Standartinform Publ., 2008. 44 (in Russian).
 13. Organization Standard STO "AVOK" 2.1–2008. *Residential and Public Buildings. Air Exchange Standards*. Moscow, Publishing House of Non-Commercial Partnership "AVOK", 2008. 16 (in Russian).
 14. Medvedeva I. V. (ed.) (2017) *Statistical Yearbook of the Republic of Belarus for 2017: Statistical Compilation*. Minsk, National Statistical Committee of the Republic of Belarus. 506 (in Russian).
 15. TKP [Technical Code of Common Practice] 45-2.04-196–2010* (02250). *Thermal Shielding of Buildings. Thermal Power characteristics. Rules for Determination*. Minsk, Publishing House of Ministry of Architecture and Construction, 2011. 27 (in Russian).
 16. *Heating Supply and Ventilation of Residential Buildings. Reference Book for SNiP (Construction Rules and Regulations)*. Moscow: Stroyizdat Publ., 1990. 24 (in Russian).
 17. Methodology 0212.16–99. Methodology for Calculation of Carbon Emission in Atmosphere by Boilers of Thermal Power Plants and Boiler-Houses. *Law of Belarus*. Available at: <http://www.lawbelarus.com/068492> (in Russian).
 18. Sargin Yu. N., Druskin L. I., Pokrovskaya I. B., Staroverov I. G., Shiller Yu. I. (1990) *Interior Sanitary and Hygienic Devices. Part 2. Water Supply and Sanitary Piping*. Moscow, Stroyizdat Publ. 247 (in Russian).
- Received: 26.04.2018
Accepted: 28.06.2018
Published online: 27.07.2018

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-4-314-319>

УДК 519.8; 332.1

Оценка влияния автотранспортной инфраструктуры на социально-экономические показатели Минской области

Докт. экон. наук, проф. Р. Б. Ивуть¹⁾, канд. техн. наук, доц. П. В. Попов²⁾,
магистр экон. наук П. И. Лапковская¹⁾, канд. экон. наук И. В. Емельянович¹⁾

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

²⁾Волжский гуманитарный институт, филиал Волгоградского государственного университета
(Волжский, Российская Федерация)

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

Реферат. В статье обоснована необходимость исследования автотранспортной инфраструктуры в контексте ее влияния на социально-экономические показатели развития отдельного региона. Значимость данного исследования подтверждается целями и задачами развития транспортной системы Республики Беларусь, обозначенными в Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 г., а также приоритетными направлениями развития Минской области, представленными в Стратегии устойчивого развития Минской области на 2016–2025 гг. Исследовано влияние восьми показателей развития автотранспортной инфраструктуры Минского региона на четыре ключевых социально-экономических показателя развития региона, таких как валовой региональный продукт, инвестиции в основной капитал, доходы консолидированных бюджетов, средний уровень заработной платы. Для оценки взаимосвязи зависимых и независимых переменных был использован множественный регрессионный анализ. В качестве метода множественного регрессионного анализа был использован метод шагового отбора. Все расчеты проводились в программе IBM SPSS Statistics 20. В результате исследования установлены показатели корреляции между зависимыми и независимыми переменными, выявлены взаимосвязи между переменными и определены зависимости. Достоверность вычислений была проверена с помощью критериев Фишера и Стьюдента. Полученные результаты позволили выявить ключевые показатели автотранспортной инфраструктуры Минской области, которые в наибольшей степени влияют на социально-экономическое развитие данного региона и могут быть использованы при анализе инвестиционной привлекательности Минской области.

Ключевые слова: автотранспортная инфраструктура, социально-экономические показатели, регион, множественный регрессионный анализ, инвестиционная привлекательность региона

Для цитирования: Оценка влияния автотранспортной инфраструктуры на социально-экономические показатели Минской области / Р. Б. Ивуть [и др.] // *Наука и техника*. 2018. Т. 17, № 4. С. 314–319. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-4-314-319>

Evaluation of Motor Transport Infrastructure Influence on Socio-Economic Indicators of Minsk Region

R. B. Ivut¹⁾, P. V. Popov²⁾, P. I. Lapkovskaya¹⁾, I. V. Emelyanovich¹⁾

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

²⁾Volzhsky Institute of Humanities, Branch of Volgograd State University (Volzhskiy, Russian Federation)

Abstract. The paper substantiates the necessity to study a transport infrastructure in the context of its impact on socio-economic indicators pertaining to the development of a certain region. The importance of this study is confirmed by the goals and objectives of the transport system development of the Republic of Belarus, which are outlined in the National Strategy

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

of the Republic of Belarus for Sustainable Socio-Economic Development for the period until 2030, and they are considered as well as priority areas for the development of Minsk region, presented in the Sustainable Development Strategy of Minsk Region for 2016–2025. The influence of eight indicators for transport infrastructure development of Minsk region on four key socio-economic indicators of the region development such as gross regional product, investment in fixed assets, revenues of consolidated budgets, average wage level has been investigated in the paper. A multiple regression analysis has been applied for assessing a relationship between dependent and independent variables. A step selection method has been used as a method of multiple regression analysis. All calculations have been carried out in the IBM SPSS Statistics 20 program. As a result of the study correlation indicators have been established between dependent and independent variables, relationships between variables and dependencies have been determined in the paper. The reliability of the obtained results have been verified with the help of the Fisher and Student's criteria. The obtained results have made it possible to identify key indicators for a transport infrastructure of Minsk region which have the greatest impact on socio-economic development of this region and can be used to analyze an investment attractiveness of Minsk region.

Keywords: motor transport infrastructure, socio-economic indicators, region, multiple regression analysis, investment attractiveness of the region

For citation: Ivut R. B., Popov P. V., Lapkovskaya P. I., Emelyanovich I. V. (2018) Evaluation of Motor Transport Infrastructure Influence on Socio-Economic Indicators of Minsk Region. *Science and Technique*. 17 (4), 314–319. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-4-314-319> (in Russian)

Введение

В Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 г. (далее – НСУР) отмечается, что устойчивое развитие транспортной системы Беларуси до 2030 г. нацелено на удовлетворение потребностей экономики и общества в качественных транспортных услугах при обеспечении природоохранных требований и безопасности дорожного движения. При этом целевыми параметрами достижения поставленной цели являются [1]:

- рост грузооборота транспорта за 2016–2030 гг. в 1,2 раза;
- рост пассажирооборота транспорта в 1,4 раза;
- увеличение удельного веса дорог с твердым покрытием в общей длине автомобильных дорог общего пользования с 86 % в 2013 г. до 90 % в 2030-м;
- рост экспорта транспортных услуг в 2,2 раза.

Согласно НСУР, главными направлениями развития транспортной системы должны стать:

- совершенствование транспортной инфраструктуры на основе реконструкции и модернизации путей сообщения, искусственных сооружений, терминалов и средств связи;
- обновление парка подвижного состава современными высокоэффективными и экологичными транспортными средствами;
- повышение качества и перечня оказываемых услуг.

На первом этапе (2016–2020 гг.) основной целью является создание условий для устойчи-

вого развития транспорта, возрастания мобильности населения и оптимизации товародвижения. В целях ее реализации предусматривается решение таких задач, как:

- транспортное обеспечение внешнеэкономических связей Республики Беларусь с развитием международных транспортных коридоров, проходящих через территорию страны;
- создание условий для оптимального взаимодействия всех видов транспорта, увеличение объемов и повышение эффективности перевозок грузов;
- формирование среды высокой степени доступности транспорта для населения, обеспечивающей развитие социально-экономических связей городов и регионов республики, углубление экономической интеграции территорий и повышение мобильности населения;
- создание интегрированных систем транспортного обслуживания населения с учетом взаимодействия различных видов транспорта и транспортных организаций;
- формирование современной транспортной инфраструктуры, обеспечивающей конкурентоспособность транзитных и внутренних маршрутов на уровне международных требований.

В Стратегии устойчивого развития Минской области на 2016–2025 гг. (далее – Стратегия) отмечается, что Минский регион должен специализироваться на тех сферах и видах экономической деятельности, для которых на территории имеются конкурентные преимущества, в том числе транспортно-логистическая инфраструктура [2].

Один из приоритетов Стратегии – развитие Минской области как транспортного коридора

на экологически устойчивой основе для реализации транзитного потенциала страны и регионального развития [2].

Сильными сторонами Минского региона являются:

- развитый общественный и грузовой транспорт;
- наличие логистических центров;
- строительство второй кольцевой дороги;
- месторасположение региона на пересечении трансъевропейских коридоров.

При этом в Стратегии также отмечается, что существуют угрозы, которые могут помешать дальнейшему развитию данного региона и его сильных сторон [2]:

- темпы развития промышленности и логистики в области превышают темпы развития пропускной способности дорог;
- разрушение автодорожного покрытия из-за удешевления строительства и недостатка финансирования.

Кроме этого, в Стратегии важнейшим приоритетом выделяется повышение доступности, комфортности и безопасности использования транспортной инфраструктуры региона для населения. В рамках данного приоритетного направления предусматриваются [2]:

- реализация инвестиционных проектов по созданию интеллектуальных систем на транспорте на базе автоматизированных систем управления дорожным движением и пассажирским транспортом;
- разработка региональной программы улучшения транспортной доступности населенных пунктов области (включая строительство подъездов с твердым покрытием ко всем сельским населенным пунктам; обустройство и рациональное размещения остановочных пунктов маршрутных пассажирских транспортных средств; обслуживание сельского населения транспортом общего пользования при дальности пешеходных подходов к остановочным пунктам автобуса не более 2 км или путем организации оперативных маршрутов микроавтобусов «по заказу»);
- разработка комплексной схемы организации дорожного движения для наиболее оживленных автодорог и крупных городов региона, включая внедрение новых методов контроля скоростного режима транспортных потоков,

основанных на использовании современных средств телекоммуникации.

Выделение среди приоритетных направлений развития Минской области мероприятий по совершенствованию транспортно-логистической инфраструктуры региона обусловлено не только реализацией транзитного потенциала страны, но и ее существенным влиянием на социально-экономические показатели. В частности, в [3] показано, что улучшение качества транспортно-логистической системы на 10 % приводит к росту экспорта на 2 % в экспортирующей экономике и к росту импорта на 3 % для импортирующей экономики. Исследования Ю. Н. Гольской [4], Н. А. Росляковой [5] и других авторов [6–9] показали значительное влияние уровня развития транспортной инфраструктуры на инвестиционную привлекательность регионов.

Таким образом, определение степени влияния ключевых показателей транспортной инфраструктуры на социально-экономическое развитие регионов позволит установить не только вид зависимости между ними, но и выявить объекты инфраструктуры, являющиеся драйверами экономического роста.

Основная часть

В настоящей работе рассмотрено влияние автотранспортной инфраструктуры на экономические показатели Минской области за 2005–2016 гг. В качестве зависимых переменных были выбраны следующие социально-экономические показатели [4]:

- валовой региональный продукт y_1 , млрд руб.;
 - инвестиции в основной капитал y_2 , млн руб.;
 - доходы консолидированных бюджетов y_3 , млрд руб.;
 - средний уровень заработной платы y_4 , руб.
- К показателям, характеризующим автотранспортную инфраструктуру области и являющимся независимыми переменными, были отнесены [3]:
- густота путей сообщения x_1 (автомобильный транспорт), км/1000 км²;
 - отправление грузов автомобильным транспортом x_2 , млн т;
 - перевозки пассажиров автомобильным транспортом x_3 , млн чел.;

- грузооборот x_4 (автомобильный транспорт), млн т·км;
- пассажирооборот x_5 , млн пассажиро·км;
- количество транспортных предприятий и организаций x_6 , ед.;
- индексы цен (тарифов) на услуги пассажирского транспорта x_7 , (декабрь к декабрю предыдущего года), %;
- численность активного населения x_8 , тыс. чел.

Исходные данные были взяты из статистических ежегодников Минской области [10] и статистических изданий «Транспорт и связь в Республике Беларусь» [11].

На первоначальном этапе произведем оценку взаимосвязи между выбранными социально-экономическими показателями и характеристиками автотранспортной инфраструктуры. Матрица корреляций между зависимыми и независимыми переменными представлена в табл. 1.

Таблица 1

Матрица корреляций между зависимыми и независимыми переменными

Matrix of correlation between dependent and independent variables

Независимая переменная	Зависимая переменная			
	y_1	y_2	y_3	y_4
x_1	0,951	0,970	0,975	0,962
x_2	0,858	0,922	0,870	0,855
x_3	-0,192	-0,088	-0,157	-0,248
x_4	0,930	0,978	0,950	0,938
x_5	0,878	0,931	0,913	0,904
x_6	0,941	0,884	0,923	0,949
x_7	0,220	0,330	0,232	0,205
x_8	0,701	0,814	0,733	0,738

Данные, представленные в табл. 1, показывают наличие сильной взаимосвязи между независимыми и зависимыми переменными, за исключением таких показателей, как перевозки пассажиров автомобильным транспортом и индексы цен (тарифов) на услуги пассажирского транспорта (декабрь к декабрю предыдущего года). Между показателями x_3 , x_7 и зависимыми

переменными y_1 , y_2 , y_3 , y_4 слабая связь. Таким образом, полученные результаты дают возможность проведения дальнейшего анализа по определению количественной оценки связей.

Для оценки взаимосвязи зависимых и независимых переменных в работе использован множественный регрессионный анализ; расчеты проводились в программе IBM SPSS Statistics 20 [12]. Так как показатели представлены в разных единицах измерения, а значения переменных могут отличаться в десять и более раз, была включена функция стандартизации переменных. В качестве метода множественного регрессионного анализа использовался метод шагового отбора. Применение множественного регрессионного, а не многофакторного дисперсионного анализа было обусловлено тем, что зависимые и независимые переменные не представляют собой градации факторов и измерены в количественной шкале.

В соответствии с расчетами (табл. 2) можно сделать вывод о том, что линейная модель множественной регрессии может быть содержательно интерпретирована для всех зависимых переменных, так как коэффициент множественной корреляции R статистически достоверен. Коэффициент множественной детерминации более 97 %, следовательно, предсказанные значения зависимых переменных (валовой региональный продукт, инвестиции в основной капитал, доходы консолидированных бюджетов, средний уровень заработной платы) могут быть приняты во внимание.

Проведем оценку влияния показателей автотранспортной инфраструктуры на социально-экономические характеристики Минской области. Стандартизированные коэффициенты, оказывающие влияние на независимые переменные, критерии t -Стьюдента и уровни значимости для показателей автотранспортной инфраструктуры представлены в табл. 3.

Таблица 2

Сводка для модели

Model report

Зависимая переменная	R	R -квадрат	Скорректированный R -квадрат	Стандартная ошибка оценки	F-Фишера	Значимость
y_1	0,989	0,979	0,973	8335303,83	161,772	0,0001
y_2	0,990	0,981	0,977	2738,19921	230,184	0,0001
y_3	0,991	0,981	0,977	1136,42424	233,619	0,0001
y_4	0,992	0,985	0,982	355,52865	295,307	0,0001

Таблица 3

Статистики коэффициентов
Coefficient statistics

Зависимая переменная	Статистика	Коэффициент			
		Константа	x_1	x_4	x_6
y_1	Стандартизированные коэффициенты	–	0,544		0,490
	<i>t</i> -Стюдента.	5,895	5,535		4,981
	Значимость	0,001	0,001		0,002
y_2	Стандартизированные коэффициенты	–	0,566	0,441	
	<i>t</i> -Стюдента.	4,114	4,379	3,418	
	Значимость	0,003	0,002	0,008	
y_3	Стандартизированные коэффициенты	–	0,691		0,333
	<i>t</i> -Стюдента.	8,122	7,820		3,773
	Значимость	0,0001	0,0001		0,004
y_4	Стандартизированные коэффициенты	–	0,562		0,469
	<i>t</i> -Стюдента.	7,841	7,136		5,956
	Значимость	0,0001	0,0001		0,0001

Анализ табл. 3 показал, что переменные y_1 , y_3 , y_4 зависят от показателей x_1 , x_6 . Экономический показатель y_2 взаимоувязан с критериями показателей x_1 , x_4 .

Стандартизированные коэффициенты регрессии являются статистически значимыми, так как уровень значимости не превышает 0,8 %, а следовательно, имеется возможность интерпретировать относительную степень влияния каждого из предикторов на зависимую переменную.

Результаты табл. 3 свидетельствуют, что на валовой региональный продукт, средний уровень заработной платы и инвестиции в основной капитал значительное влияние оказывает такая характеристика транспортной инфраструктуры, как густота путей сообщения (автомобильный транспорт), с доходами консолидированных бюджетов наиболее тесно связаны такие характеристики автотранспортной инфраструктуры, как густота путей сообщения (автомобильный транспорт) и количество транспортных предприятий и организаций.

Уравнения линейной множественной регрессии для социально-экономических показателей Минской области можно представить в виде:

– валовой региональный продукт

$$y_1 = 0,544x_1 + 0,490x_6;$$

– инвестиции в основной капитал

$$y_2 = 0,566x_1 + 0,441x_4;$$

– доходы консолидированных бюджетов

$$y_3 = 0,691x_1 + 0,333x_6;$$

– средний уровень заработной платы

$$y_4 = 0,562x_1 + 0,469x_6.$$

ВЫВОДЫ

1. Увеличение значений показателей транспортной инфраструктуры, таких как густота путей сообщения (автомобильный транспорт) и количество транспортных предприятий и организаций, для Минской области приводит к росту важнейших социально-экономических показателей – валового регионального продукта, инвестиций в основной капитал, доходов консолидированных бюджетов, среднего уровня заработной платы, а соответственно повысит инвестиционную привлекательность региона.

2. Для повышения уровня развития транспортной инфраструктуры авторами предложен алгоритм решения [13] математических моделей формирования складской [14] и транспортной [15] инфраструктур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года [Электронный ресурс]: Одобрено, протокол заседания Президиума Совета Министров Республики Беларусь от 2 мая 2017 г. № 10. Режим доступа: <http://www.economy.gov.by/uploads/files/NSUR2030/Natsionalnaja-strategija-ustojchivogo-sotsialno-ekonomicheskogo-razvitiya-Respubliki-Belarus-na-period-do-2030-goda.pdf>. Дата доступа: 04.01.2018.
2. Стратегия устойчивого развития Минской области на 2016–2025 годы [Электронный ресурс]: проект. Режим доступа: <http://allminsk.biz/images/sur.pdf>. Дата доступа: 04.01.2018.
3. The Importance of Trade Costs: A Gravity Model Applications: 3rd ARTNeT Capacity Building Workshop. UNESCAP. Bangkok. 26–30 March 2007 [Electronic resource]. Mode of Access: http://artnet.unescap.org/tid/artnet/mtg/cb3_d2s3dea.pdf. Date of access: 04.01.2018.
4. Гольская, Ю. Н. Оценка влияния транспорта на социально-экономическое развитие регионов / Ю. Н. Гольская, И. А. Кузнецова // Известия Байкальского государственного университета. 2010. № 5. С. 61–64.

5. Рослякова, Н. А. Оценка взаимосвязи параметров транспортного комплекса региона и его экономического роста / Н. А. Рослякова // Вестник СибАДИ. 2013. Т. 33, вып. 5. С. 156–162.
 6. Решетова, Е. М. Влияние инвестиций в развитие транспортной инфраструктуры на интенсивность межрегиональной торговли / Е. М. Решетова, Е. О. Кончева // Экономика строительства. 2016. № 3. С. 55–65.
 7. Хайтбаев, В. А. Влияние транспортной инфраструктуры на социальную сферу и экономическое развитие Самарского региона / В. А. Хайтбаев, С. В. Копейкин // Наука и образование транспорту. 2016. № 1. С. 154–157.
 8. Панко, З. С. Влияние совершенствования транспортной инфраструктуры на социально-экономическое развитие г. Сочи / З. С. Панко, Т. Г. Терентьева // Вестник Института экономики и управления Новгородского Государственного университета имени Ярослава Мудрого. 2011. № 2. С. 50–54.
 9. Дубровская, Ю. В. Транспортная инфраструктура как фактор экономического роста региона / Ю. В. Дубровская, Н. М. Копнинцева, А. Н. Поздреева // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. 2015. № 1. С. 293–296.
 10. Статистические ежегодники Минской области 2013–2017 [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://minsk.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statisticheskaya-informatsiya/publications/public_compilation/. Дата доступа: 04.01.2018.
 11. Статистические издания «Транспорт и связь в Республике Беларусь» 2012, 2014, 2016 [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/transport/ofitsialnye-publikatsii_11/. Дата доступа: 04.01.2018.
 12. IBM SPSS Statistics Base 20 [Electronic resource]. Copyright IBM Corporation USA 1989, 2011. Mode of Access: <https://www.csun.edu/sites/default/files/statistics20-base-64bit.pdf>.
 13. Попов, П. В. Об оптимизации логистической инфраструктуры региона / П. В. Попов, И. Ю. Мирецкий, А. А. Полковников // Логистика. 2017. № 7. С. 37–39.
 14. Модель формирования складской инфраструктуры регионов / П. В. Попов [и др.] // Новости науки и технологий. 2016. Т. 37, № 2. С. 24–28.
 15. Ивуть, Р. Б. Проектирование сети автотранспортных парков / Р. Б. Ивуть, П. В. Попов, И. Ю. Мирецкий // Наука и техника. 2016. Т. 15, № 5. С. 442–446. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2016-15-5-442-446>.
- Поступила 29.01.2018
Подписана в печать 09.04.2018
Опубликована онлайн 27.07.2018
- ### REFERENCES
1. *National Strategy for Sustainable Socio-Economic Development of the Republic of Belarus for the Period Until 2030: The Protocol of the Meeting of the Presidium of the Council of Ministers of the Republic of Belarus of May 2, 2017 No 10 Was Approved*. Available at: <http://www.economy.gov.by/uploads/files/NSUR2030/Natsionalnaya-strategiya-ustojchivogo-sotsialno-ekonomicheskogo-razvitiya-Belaruski-Belarus-na-period-do-2030-goda.pdf> (Accessed 4 January 2018) (in Russian).
 2. *Strategy for Sustainable Development of Minsk Region for the Period of 2016–2025: Project*. Available at: <http://allminsk.biz/images/sur.pdf> (Accessed 4 January 2018) (in Russian).
 3. *The Importance of Trade Costs: A Gravity Model Applications*. 3rd ARTNeT Capacity Building Workshop. UNESCAP. Bangkok. 26–30 March 2007. Available at: http://artnet.unescap.org/tid/artnet/mtg/cb3_d2s3dea.pdf (Accessed 4 January 2018).
 4. Golskaya Yu. N., Kuznetsova I. A. (2010) Evaluation of Transport Influence on Socio-Economic Development of Regions. *Izvestiya Baikalskogo Gosudarstvennogo Universiteta = Bulletin of Baikal State University*, (5), 61–64 (in Russian).
 5. Roslyakova N. A. (2013) Evaluation of Inter-Relation between Parameters of Transport Complex in the Region and its Economic Growth. *Vestnik SibADI*, 33 (5), 156–162 (in Russian).
 6. Reshetova E. M., Koncheva E. O. (2016) Influence of Investments in Development of Transport Infrastructure on Intensity of Inter-Regional Trade. *Ekonomika Stroitelstva = Economics of Construction*, (3), 55–65 (in Russian).
 7. Khaytbaev V. A., Kopeykin S. V. (2016) Influence of Transport Infrastructure on Social Sphere and Economic Development of Samara Region. *Nauka i Obrazovanie Transportu* [Science and Education for Transport], (1), 154–157 (in Russian).
 8. Panko Z. S., Terentieva T. G. (2011) Influence of Transport Infrastructure Improvement on Socio-Economic Development of Sochi. *Vestnik Instituta Ekonomiki i Upravleniya Novgorodskogo Gosudarstvennogo Universiteta Imeni Yaroslava Mudrogo = Vestnik of Yaroslav the Wise Novgorod State University*, (2), 50–54 (in Russian).
 9. Dubrovskaya Yu. V., Koptintseva N. M., Pozdreeva A. N. (2015) Transport Infrastructure as Factor of Regional Economic Growth. *Gumanitarnye, Sotsial'no-Ekonomicheskie i Obshchestvennye Nauki = Humanities, Social-Economic and Social Sciences*, (1), 293–296 (in Russian).
 10. *Statistical Yearbook of Minsk Region for 2013–2017*. Available at: http://minsk.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statisticheskaya-informatsiya/publications/public_compilation/ (Accessed 4 January 2018) (in Russian).
 11. *Statistical Publications “Transport and Communication in the Republic of Belarus” for 2012, 2014, 2016*. Available at: http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/transport/ofitsialnye-publikatsii_11/ (Accessed 4 January 2018) (in Russian).
 12. *IBM SPSS Statistics Base 20*. Copyright IBM Corporation USA 1989, 2011. Available at: <https://www.csun.edu/sites/default/files/statistics20-base-64bit.pdf>.
 13. Popov P. V., Miretsky I. Yu., Polkovnikov A. A. (2017) On optimization of Regional Logistics Infrastructure. *Logistika = Logistics*, (7), 37–39 (in Russian).
 14. Popov P. V., Ivut' R. B., Lapkovskaya P. I., Miretskii I. Yu. (2016) Model for Formation of Regional Warehouse Infrastructure. *Novosti Nauki i Tekhnologii = News of Science and Technologies*, 37 (2), 24–28 (in Russian).
 15. Ivut R. B., Popov P. V., Miretsky I. Yu. (2016) Designing of an Automobile Fleet Network. *Nauka i Tekhnika = Science & Technique*, 15 (5), 442–446 (in Russian). <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2016-15-5-442-446>.
- Received: 29.01.2018
Accepted: 09.04.2018
Published online: 27.07.2018

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-4-320-330>

УДК 658.562; 658.511

Разработка и реализация подхода к определению целей в области качества автопроизводителя по результатам гарантийной эксплуатации автомобилей

Докт. техн. наук, доц. В. Н. Козловский¹⁾, канд. техн. наук Д. В. Айдаров¹⁾, С. А. Шанин²⁾

¹⁾Самарский государственный технический университет (Самара, Российская Федерация),

²⁾Публичное акционерное общество «КАМАЗ» (Набережные Челны, Российская Федерация)

© Белорусский национальный технический университет, 2018

Belarusian National Technical University, 2018

Реферат. В современных условиях развития российского автопрома особую значимость приобретают подходы, базирующиеся на принципах менеджмента качества «ориентация на потребителя» и «принятие решений, основанных на фактах». Для решения ключевых проблем, связанных с качеством и конкурентоспособностью продукции, крайне необходимы эффективные и обоснованные управленческие действия, базирующиеся в первую очередь на детальном анализе результатов гарантийной эксплуатации автомобилей. Такая технология работы способствует улучшению процессов менеджмента качества, созданию возможностей для повышения удовлетворенности потребителей и устойчивому развитию автопроизводителей. В статье актуализируется проблема разработки и реализации нового подхода к назначению целей в области качества продукции автомобильных корпораций. Проведен исторический анализ изменения показателей качества автомобилей одного из ведущих российских автопроизводителей. Рассматривается традиционная, сложившаяся на предприятиях методология определения целей в области качества по новым автомобилям, находящимся в гарантийной эксплуатации. На основе анализа передового опыта в вопросах организации процесса мониторинга качества автомобилей в эксплуатации предлагается новый подход по определению целевых показателей качества продукции автопрома, который учитывает ряд показателей, имеющих ключевое значение в формировании конкурентоспособности продукции автомобильных корпораций. Разработана и реализована современная, отвечающая текущим и перспективным тенденциям общая платформа процесса разработки и мониторинга целей в области качества автомобилей в эксплуатации. Применение платформы и ее элементов в практике автопроизводителей обеспечивает возможности для гармоничного совершенствования системы менеджмента качества и направлено на повышение конкурентоспособности продукции.

Ключевые слова: автомобильная промышленность, конкурентоспособность, качество, целевые показатели

Для цитирования: Козловский, В. Н. Разработка и реализация подхода к определению целей в области качества автопроизводителя по результатам гарантийной эксплуатации автомобилей / В. Н. Козловский, Д. В. Айдаров, С. А. Шанин // *Наука и техника*. 2018. Т. 17, № 4. С. 320–330. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-4-320-330>

Development and Realization of Approach for Defining Quality Objectives of Carmaker According to Results of Cars Warranty Period

V. N. Kozlovskiy¹⁾, D. V. Aydarov¹⁾, S. A. Shanin²⁾

¹⁾Samara State Technical University (Samara, Russian Federation),

²⁾KAMAZ PTC (Naberezhnye Chelny, Russian Federation)

Abstract. Approaches based on such quality management principles as “consumer orientation” and “decision making on the basis of factual data” are of particular importance for the development of Russian automotive industry under current con-

Адрес для переписки

Козловский Владимир Николаевич
Самарский государственный технический университет
ул. Молодогвардейская, 244,
443100, г. Самара, Российская Федерация
Тел.: +7 846 278-43-11
Kozlovskiy-76@mail.ru

Address for correspondence

Kozlovskiy Vladimir N.
Samara State Technical University
244 Molodogvardeyskaya str.,
443100, Samara, Russian Federation
Tel.: +7 846 278-43-11
Kozlovskiy-76@mail.ru

ditions. In order to solve key problems concerning quality and product competitiveness it is necessary to take efficient and substantiated management decisions which are based on a detailed analysis of the results in respect of cars warranty period. Such technology contributes to improvement of quality management processes, creation of opportunities for enhancement of customer satisfaction and sustainable development of carmakers. The paper is updating a problem of development and realization of a new approach to define quality objectives for automotive corporations. Historical analysis has been made in respect of changes in cars quality indicators for one of the leading Russian automakers. The paper presents conventional methodology which is used at enterprises to define quality objectives for new cars being under warranty period. A new approach for determination of target indicators for product quality in automotive industry has been proposed on basis of the analysis of the best practice in organizing process to monitor quality of cars in operation. The approach takes into account a number of indicators of key importance in the formation of product competitiveness of automotive corporations. A common platform has been implemented for development and monitoring of quality objectives for cars in operation. The developed platform meets current and prospective tendencies. Application of the platform and its elements in the carmakers practice provides opportunities for harmonious improvement of the quality management system and it is aimed at improvement of product competitiveness.

Keywords: automotive industry, competitiveness, quality, target indicators

For citation: Kozlovskiy V. N., Aydarov D. V., Shanin S. A. (2018) Development and Realization of Approach for Defining Quality Objectives of Carmaker According to Results of Cars Warranty Period. *Science and Technique*. 17 (4), 320–330. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-4-320-330> (in Russian)

Введение

Достижение высоких показателей конкурентоспособности продукции и услуг представляет собой естественную цель для любого эффективного бизнеса. Эта цель вытекает из желания владельца, представителей менеджмента организации и всего коллектива обеспечить процесс непрерывного, долгосрочного развития, что, кстати, очень хорошо укладывается в принципы Э. Деминга [1, 2] и требования международного стандарта ISO 9001 [3]. Иными словами, желание обеспечить высокую конкурентоспособность результатов собственного труда является частью человеческой культуры.

В последние, кризисные, годы многие компании пострадали из-за существенного уменьшения доли рынка. Лишь некоторые сумели сохранить прежние объемы продаж или обслуживания. Еще меньше организаций добились роста.

Как правило, роста добиваются компании, которые способны к проведению и развитию аналитических исследований потребительского рынка с точки зрения основных критериев конкурентоспособности с правильным определением целевых трендов развития и со способностью воплотить выработанные целевые индикаторы в жизнь. Естественное, связанное с этим решение методологических и аналитических задач – недешевое удовольствие. Требуются грамотные эксперты, соответствующее технико-технологическое обеспечение процесса, а главное – создание условий для творческой работы. К сожалению, в нашей практике немного организаций, где есть такие аналитические центры.

Лидеры рынка очень активно развивают аналитические направления работы, непрерывно совершенствуя и оттачивая инструменты мониторинга качества продукции и услуг. Они понимают, что такие многофакторные исследования наиболее эффективно обеспечивают процесс долгосрочного развития компании. На основе анализа конкурентоспособности продукции с точки зрения эффективности и качества обеспечивается формирование наиболее важных выводов к прогнозам развития рынка. И здесь необходимо выделить ключевую роль корпоративной службы качества компаний-лидеров. В корпоративном ядре службы качества идет непрерывный процесс аккумулирования всей доступной информации с помощью имеющихся информационно-технических инструментов, ее анализ на основе современной исследовательской методологии, а также прогнозирование конкурентоспособности с выработкой предложений по улучшению качества продукции и услуг. Аналитическая служба качества современной компании – это интеллектуальное звено, определяющее целевые тренды развития конкурентоспособности корпорации с точки зрения качества.

Рассматривая опыт [4, 5], отражающий российскую практику автомобилестроения, связанный с мониторингом и назначением целей в области конкурентоспособности и качества. Следует сразу же оговориться, что разработка целевых индикаторов конкурентоспособности, выработанных на основе единой методологии с обеспечением всеобъемлющего анализа данных о безотказности продукции, ее качестве,

экономической эффективности, бенчмаркинга конкурентного рынка, отсутствует до сих пор. На наш взгляд, это существенная проблема, мешающая развитию отечественного автомобилестроения на стратегическом уровне.

Именно поэтому целью исследований являются разработка и реализация подхода для формирования целей в области качества автомобилей с учетом оценки экономических критериев эффективности эксплуатации, а также обеспечивающей ее системы мониторинга.

Анализ исследований

При оценке конкурентоспособности в сегменте массового потребительского спроса на высокотехнологичную продукцию сегодня по-прежнему наиболее актуален критерий, отражающий соотношение цены и качества. Однако в силу того, что на рынке работает множество конкурирующих между собой производителей, действующих в постоянно сужающемся ценовом диапазоне, потребительская оценка качества продукции и услуг зачастую существенно отличается [6]. То есть доминирующим фактором конкурентоспособности продукции сегодня является ее качество, в том числе с точки зрения экономической оценки, отражающей

уровень затрат на обеспечение ее эффективной эксплуатации. В этих условиях традиционные подходы мониторинга и стратегического планирования качества неприемлемы. Это подтверждает диаграмма мониторинга, отражающая количественный уровень дефектности новых легковых автомобилей, а также динамику изменения гарантийного парка крупнейшего национального автопроизводителя в исторической ретроспективе (рис. 1).

Ценность диаграммы на рис. 1 очевидна. Она позволяет проследить и оценить уровень качества продукции в гарантийной эксплуатации на протяжении нескольких десятилетий, отражая, по сути, историю качества автопроизводителя. Первичный анализ диаграммы показывает, что качество автомобилей, закладываемое процессом проектирования и обеспечиваемое производством, не обладает некоторой условной стабильностью на всем историческом отрезке.

В подтверждение сделанного вывода на рис. 2 представлена диаграмма мониторинга, отражающая приведенный к единице гарантийного парка уровень дефектности новых автомобилей, а также уровень машинозаведов на предприятия фирменной сети для устранения дефектов.

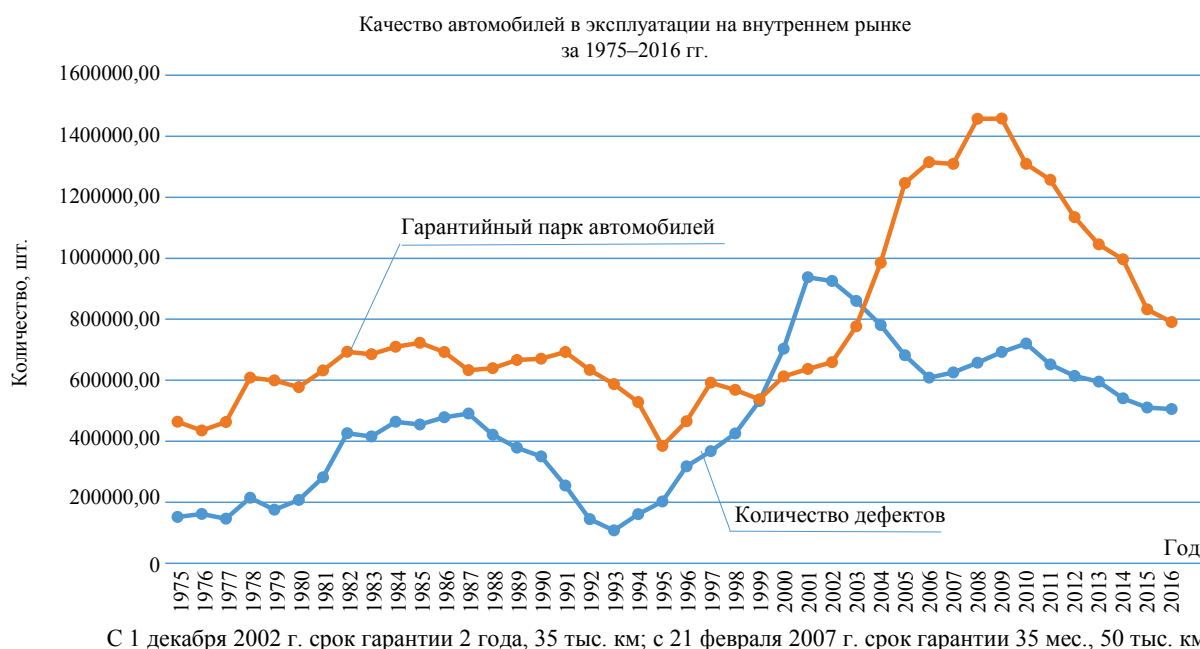


Рис. 1. Динамика изменения количества дефектов и гарантийного парка новых автомобилей автопроизводителя

Fig. 1. Dynamic pattern for defect level and warranted park of new cars of automobile maker

Анализ рис. 2 показывает, что в период с 1975 по 1988 г. произошло фактически двукратное повышение приведенного уровня дефектности. Но даже относительно уровня дефектности, зафиксированного в 1988 г., результат 2003-го выглядит еще более впечатляющим – 1,42 дефекта на один автомобиль в гарантии. Конечно, учитывая, что конструкции выпускаемых автомобилей постоянно усложняются и это влияет на безотказность транспортного средства, рост дефектности в выделенных периодах чрезвычайно существенный, что потребовало проведения работ в области повышения качества. После 2003 г. в результате разработки и реализации комплекса программ повышения качества автомобилей происходит значительное снижение уровня дефектности новых автомобилей в эксплуатации.

Следует обратить внимание на период 2007–2016 гг. Как видно из диаграммы рис. 2, за это время происходит резкое снижение гарантийного парка автомобилей вследствие первой волны экономического кризиса (2009–2012 гг.), а затем – небольшое снижение. Далее – значительное сокращение гарантийного парка из-за второй волны кризиса, вплоть до конца 2015-го. Относительно изменения гарантийного парка происходит рост уровня дефектности по автомобилям в 2009-м. В основном это связано с продажами в 2009 г. старой продукции 2008 года выпуска, имеющей значительный простой на открытых складских площадках. В этот период

времени (из-за кризиса) реализация новых автомобилей проводилась по различным стимулирующим программам.

Мониторинг затрат на гарантийную эксплуатацию автомобилей того же автопроизводителя в той же исторической ретроспективе представлен на рис. 3. Анализ диаграммы позволяет выделить несколько критических точек, причем первая из них (из совместного анализа рис. 2, 3 в 1993 г.), скорее всего, отражает общую тенденцию экономического кризиса, связанного с развалом СССР; отсюда резкие колебания рублевых и эквивалентных долларовых затрат на эксплуатацию.

Следующая критическая точка – 1998 г. До нее происходило постепенное возрастание затрат на гарантию, причем если рассматривать рис. 2, то видно, что действительно происходил рост уровня дефектности автомобилей. Но далее мы видим превалирующее влияние экономического кризиса, снижение уровня экономической стабильности и, как следствие, резкие скачки на диаграмме затрат. Еще одна характерная точка диаграммы на рис. 3 – 2003 г., в которой с учетом данных рис. 2 определенно прослеживаются именно проблемы качества продукции в эксплуатации. Любопытным с аналитической точки зрения периодом анализа диаграммы затрат является интервал 2003–2006 гг. Интересен он тем, что анализ данных рис. 2 показывает существенное снижение уровня дефектности (в три раза), что не приводит к такому же значимому сокращению затрат (всего в два раза).

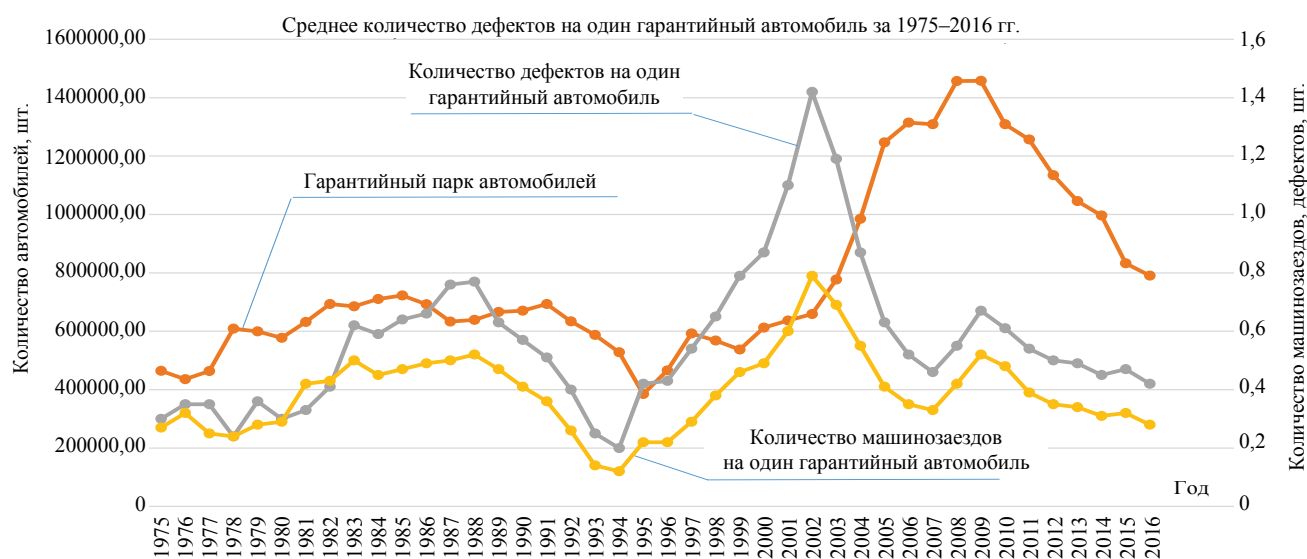


Рис. 2. Диаграмма мониторинга

Fig. 2. Monitoring diagram

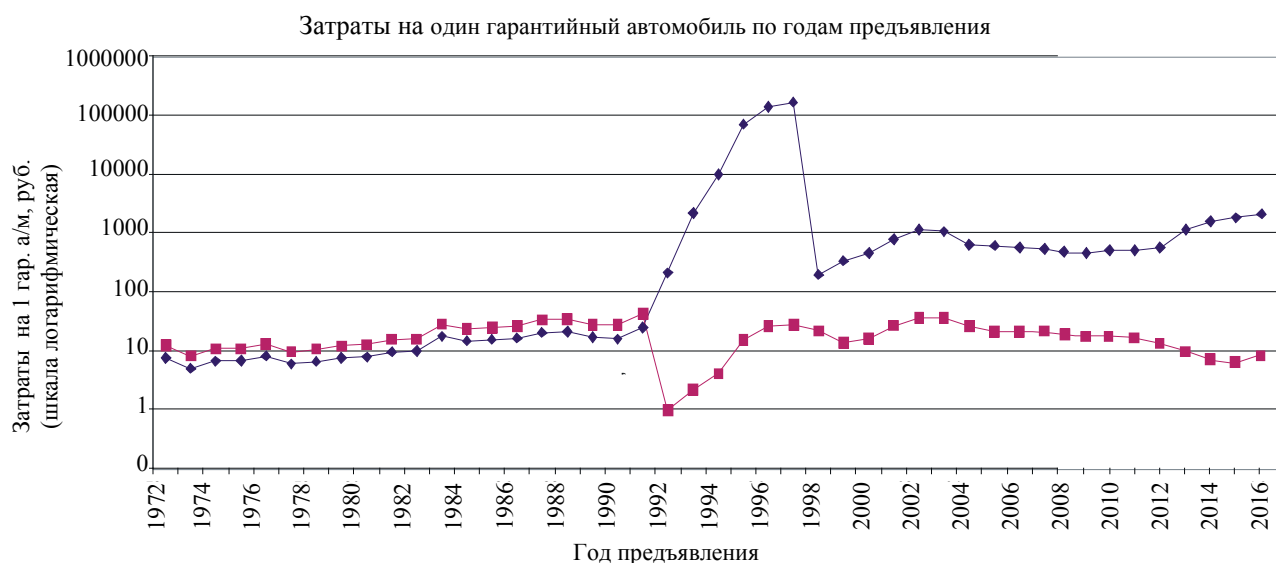


Рис. 3. Диаграмма мониторинга затрат:

—◆— — затраты на один гарантийный автомобиль; —■— — то же в дол.

Fig. 3. Diagram of cost monitoring

—◆— — costs per 1 warranty car; —■— — costs per 1 warranty car (dollar)

Еще одним сложным для предприятия в плане финансового обеспечения качества автомобилей в гарантии периодом являются 2012–2016 гг. Уровень локализации производства новых моделей автомобилей в это время не превышает 25–30 %. Многие автокомпоненты закупаются за рубежом, при этом изменение курса валют привело к существенному росту рублевых затрат на гарантию.

Отсюда и первый значимый вывод, заключающийся в необходимости повышения полноты информации о параметрах, отражающих качество продукции, и соответственно охвата экономических показателей, отражающих уровень затрат на эксплуатацию продукции в реализации подхода к назначению целей в области качества.

Диаграмма, отражающая первый из рассматриваемых традиционный подход к стратегическому планированию целей в области качества того же отечественного автопроизводителя в перспективе 2002–2012 гг., представлена на рис. 4.

Основной смысл подхода к мониторингу и назначению целей в области качества компании (рис. 1–4) заключается в обеспечении поступательного снижения уровня дефектности продукции, находящейся в гарантийной эксплуатации от достигнутого уровня. Такой подход отличается существенной простотой про-

цесса назначения целей и соответственно простотой организации мониторинга их достижения. Отдельно следует отметить, что целевые показатели представляются в абсолютных единицах измерения – количество дефектов (шт.) – с использованием гарантийной базы данных. Но практика конкурентного рынка такова, что из года в год объемы выпускаемой продукции меняются. В кризис падение продаж может быть очень существенным, а если нет продаж, то и обслуживать нечего – нет дефектов. Тогда следует предположить, что обозначенные перспективные цели могут быть достигнуты без необходимости на то напряженности в работе компании.

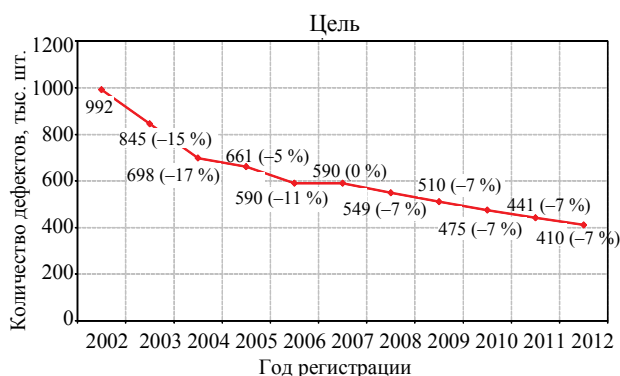


Рис. 4. Традиционный подход к стратегическому планированию качества автомобилей в эксплуатации

Fig. 4. Conventional approach to strategic planning of car quality in operation

Также существенным недостатком системы является слишком высокий уровень обобщения в рамках гарантийного парка автомобилей, имеющих разные периоды эксплуатации. При реализации данной системы получается, что в одной группе совместно оценивается качество автомобилей, имеющих, например, 1 и 24 мес. эксплуатации. Практика показывает, что такое обобщение неуместно и может негативно сказаться на качестве результатов процесса мониторинга. Еще один существенный недостаток представленного подхода, который уже упоминался, заключается в отсутствии при разработке целевых индексов качества экономических критериев, отражающих эффективность качества автомобилей в эксплуатации. Да, они присутствуют в процессе мониторинга, но, как мы видим из совместного анализа диаграмм динамики уровня дефектности и динамики затрат, не всегда коррелируются между собой в полной мере.

В процессе обеспечения работы в области качества трансформация и трансляция общей цели компании в соответствующие показатели подразделений являются важными задачами. Для их решения требуется провести расслоение общего показателя «цели организации» в группу целевых показателей для подразделений. При этом обычно реализуются два возможных алгоритма назначения целей для подразделе-

ний: либо путем равномерного снижения доли дефектности по всем подразделениям, либо путем снижения дефектности в зависимости от значимости вклада конкретного подразделения в формирование обобщенного показателя фактического уровня качества продукции (дифференцированный подход).

Применительно к рассмотренному выше подходу расслоение и трансляция общей цели в соответствующие цели подразделений компании иллюстрируются данными табл. 1. В этом случае рассматривается равномерное снижение дефектности по всем подразделениям.

Подводя промежуточный итог, можно сделать вывод, что наиболее перспективными характеристиками, которые способны отражать основные цели в области качества компаний-автопроизводителей, а следовательно, и процесса мониторинга их достижения, являются приведенные количественные показатели. Для достижения большей эффективности аналитических процессов в области качества автопроизводителей, наряду с показателями, отражающими общий уровень дефектности, требуется разработать и внедрить ряд новых индексов, раскрывающих особенности эксплуатации автомобилей, в том числе с учетом экономического аспекта, и дополняющих при этом друг друга.

Таблица 1

**Трансформация целей в области качества компании в цели подразделений
на основе первого подхода**

**Transformation of objectives in the field of company quality into targets of units
on the basis of the first approach**

Подразделение	Цель на 2007 г.	Цель на 2008 г. (снижение на 7 % от факта 2007 г.)	Целевой вклад в снижение дефектности на 2008 г., %
Количество зарегистрированных дефектов в эксплуатации, шт.			
Компания в целом	590000	548700	7
Запас	9214	8569	
Итого	580786	540131	
Сборка кузова	26225	24389	
Механосборка	112951	105045	
Металлургическое производство	1217	1132	
Инжиниринг	33305	30974	
Опытное производство	1514	1408	
Изготовление пластмассовых изделий	693	644	
Прессовое производство	86	80	
Изготовление технологического оборудования и инструментов	151	141	
Управление закупок внешних комплектующих	307358	285843	
Управление закупок резинотехнических и пластмассовых изделий	97286	90476	

Исходя из вышесказанного, с учетом практики мировых лидеров отрасли требуется решение задачи по разработке и внедрению в рассматриваемый процесс дополнительных индикаторов, более полно отражающих показатели качества автомобилей в эксплуатации, в том числе экономических, отвечающих современным методологическим требованиям и достижениям [7–9].

Основные результаты исследования

Концепция предлагаемого подхода к решению поставленной задачи представлена на рис. 5.

В последнее время в практике аналитических служб качества разных мировых автопроизводителей стали доминировать общие по физическому смыслу индексы. Они примерно такие же, как в представленной на рис. 5 концепции, и отличаются некоторыми специфическими особенностями, принятыми в конкретных компаниях. Но в целом, подчеркнем, данные индексы имеют общий смысл. Для чего это делается? Дело в том, что в условиях глобализации рынков частные подходы по анализу технико-экономических показателей продукции становятся менее эффективными и, следовательно, не актуальными. Другими словами, глобализация требует обобщения подходов и методологий оценки качества продукции в рамках единой идеологии с целью обеспечения бенчмаркинга конкурентного рынка [10].

Итак, переходим к системе показателей, обеспечивающих повышение эффективности процесса мониторинга и определяющих новый подход к назначению стратегических целей в области качества, в том числе экономических.

Количество отказов по группе месяцев анализа на 1000 проданных автомобилей MIS IPTV ($K\%$) рассчитывается по формуле

$$K\%_B(MIS) = 1000 \sum_{i=0}^{i=MIS} k_i,$$

где k_i – коэффициент, отражающий отношение количества отказов к количеству проданных автомобилей по каждому из месяцев, входящих в группу анализа; MIS – месяц гарантии (month in service), количество месяцев между датой постановки автомобиля на гарантию.

«Нулевой» месяц в гарантии (0 MIS) начинается с момента постановки автомобиля на гарантию и имеет продолжительность до конца текущего календарного месяца. С начала следующего календарного месяца – 1 MIS и т. д.

Количество блокирующих, приводящих к невозможности эксплуатации автомобилей, отказов на 1000 автомобилей по группе месяцев анализа MIS IRVO

$$R\%_B(MIS) = 1000 \sum_{i=0}^{i=MIS} r_i,$$

где r_i – коэффициент, отражающий отношение количества блокирующих отказов к количеству проданных автомобилей по каждому из месяцев, входящих в группу анализа; MIS – месяц гарантии (month in service), количество месяцев между датой продажи устройства и датой открытия регистрации документов на ремонт.

Показатель ремонтпригодности $Z\%$ определяет уровень затрат на устранение отказов по автомобилям с установленным сроком эксплуатации.

Эффективная система назначения целей и мониторинга качества автомобилей в эксплуатации на основе комплекса количественных показателей

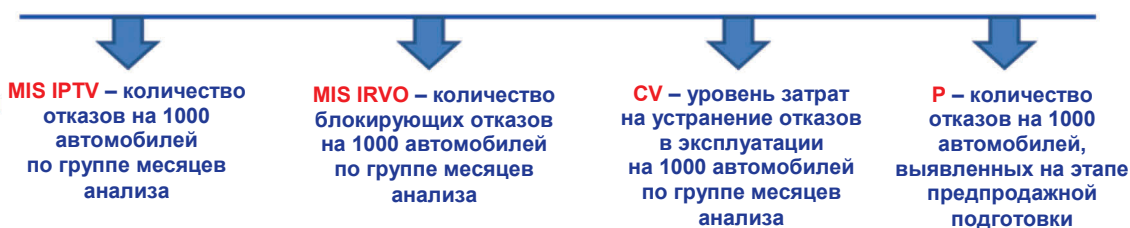


Рис. 5. Комплекс количественных показателей качества автомобилей в эксплуатации

Fig. 5. Complex of quantitative indicators for cars in operation

Показатель уровня затрат на устранение отказов в эксплуатации на 1000 автомобилей по группе месяцев анализа CV

$$Z \%_B(MIS) = 1000 \sum_{i=0}^{i=MIS} z_i,$$

где z_i – коэффициент, отражающий отношение затрат на устранение отказов к количеству проданных автомобилей по каждому из месяцев, входящих в группу анализа; MIS – месяц гарантии (month in service), количество месяцев между датой продажи устройства и датой открытия регистрации документов на ремонт.

Уровень отказов, выявленных на предпродажной подготовке (ППП) P , представляет собой отношение числа отказов, выявленных на этапе ППП, а также всех отказов, выявленных при перегоне автомобиля, при проведении технического обслуживания до проведения ППП с проставлением отметки в сервисной книжке к числу автомобилей, прошедших ППП (N_p), имеющих определенную дату выпуска, приведенный к 1000 автомобилей, определяется по формуле

$$P \%_i = \frac{\sum_{i=1}^n Y}{N_p} \cdot 1000,$$

где Y – количество отказов на автомобилях известного месяца производства, выявленных на предпродажной подготовке.

Диаграмма целей в области качества того же автопроизводителя в перспективе на 2009–2020 гг.

представлена на рис. 6. Однако при реализации нового подхода также существуют ограничения по обеспечению достоверности анализируемых данных, связанные с требованием продаж автомобилей не менее 40 % от объема выпуска в первый месяц, и далее – не менее 10 % ежемесячно. При выполнении выделенных ограничений достоверность показателя достигает уровня 97 % уже через 6 мес. непрерывного анализа качества заданной группы автомобилей.

Из анализа рис. 6 понятно, что при реализации нового подхода к оцениванию качества автомобилей в эксплуатации, т. е. мониторингу и назначению целей, требуется в дополнение к показателю по общему уровню дефектности $K \%$ (например, по результатам трехмесячной эксплуатации) добавить по крайней мере еще два индекса, отражающих уровень затрат в гарантийной эксплуатации новых автомобилей $Z \%_B$, уровень блокирующих дефектов $R \%_B$. Также при мониторинге показателей качества можно учитывать индекс уровня дефектности на предпродажной подготовке (PDI, $P \%_B$).

В результате пересчета данных, отражающих фактический уровень качества одной из наиболее популярных в России марок легковых автомобилей в эксплуатации, получены диаграммы (рис. 7–10), которые с учетом результатов бенчмаркинга конкурентного рынка позволяют более эффективно назначать и анализировать достижение целей в области качества по трем показателям эксплуатации.

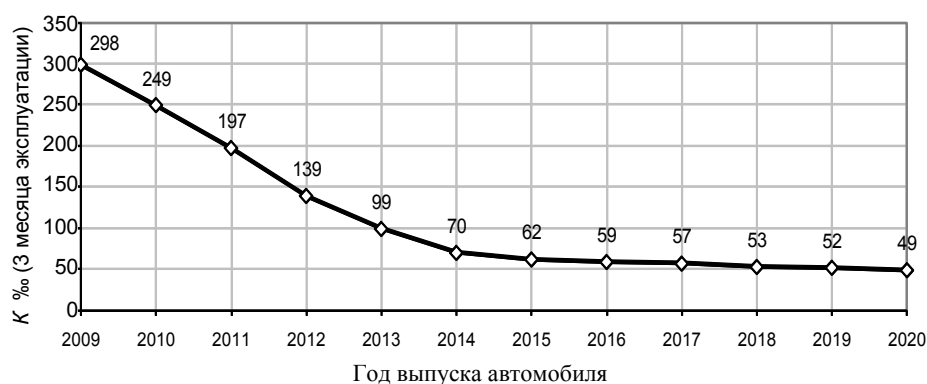


Рис. 6. Современный подход к стратегическому планированию качества автомобилей в эксплуатации

Fig. 6. Modern approach to strategic planning of car quality in operation

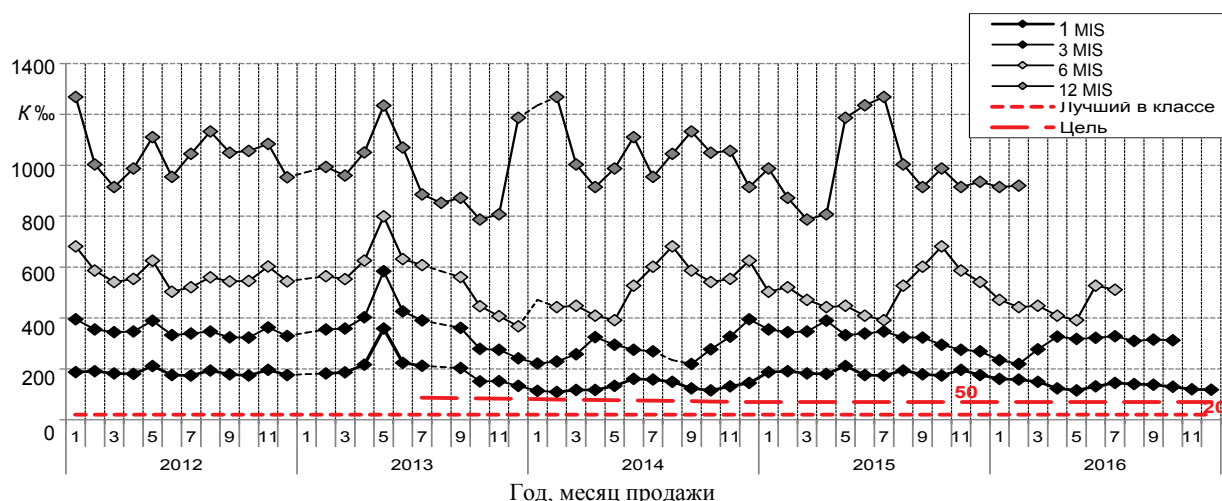


Рис. 7. Диаграмма мониторинга целей в области качества по индексу уровня дефектности автомобилей в гарантийной эксплуатации ($K \text{ ‰}$)

Fig. 7. Monitoring diagram of objectives in the field of quality according to car defect level index in warranty operation ($K \text{ ‰}$)

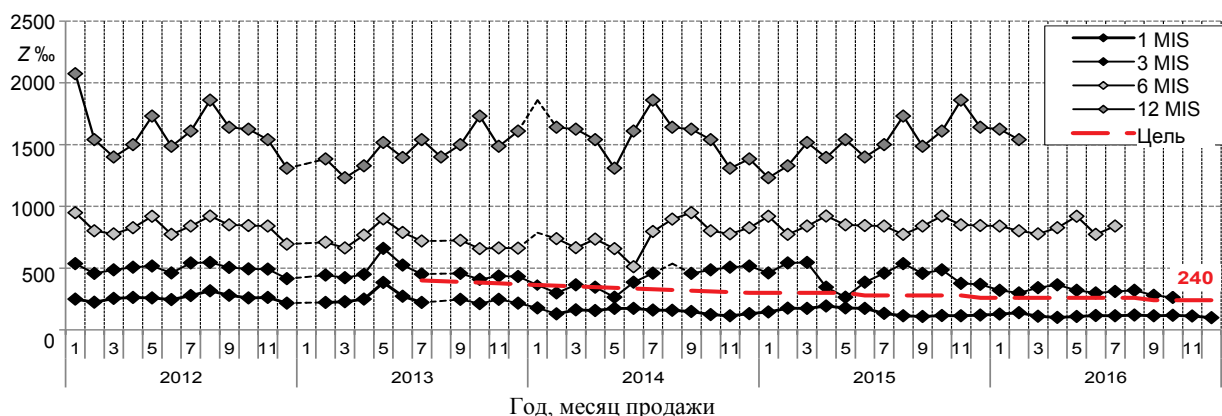


Рис. 8. Диаграмма мониторинга целей в области качества по индексу затрат на устранение дефектности автомобилей в гарантийной эксплуатации ($CV, Z \text{ ‰}$)

Fig. 8. Monitoring diagram of objectives in the field of quality according to index of costs for elimination of car defects in warranty operation ($CV, Z \text{ ‰}$)

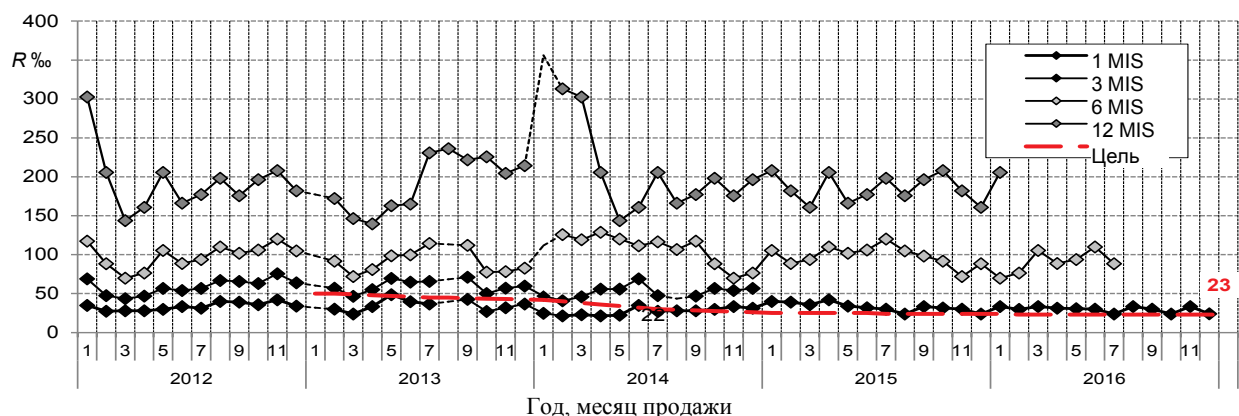


Рис. 9. Диаграмма мониторинга целей в области качества по индексу уровня блокирующих дефектов автомобилей в гарантийной эксплуатации ($IRVO, R \text{ ‰}$)

Fig. 9. Monitoring diagram of objectives in the field of quality according to index of car blocking defects in warranty operation ($IRVO, R \text{ ‰}$)

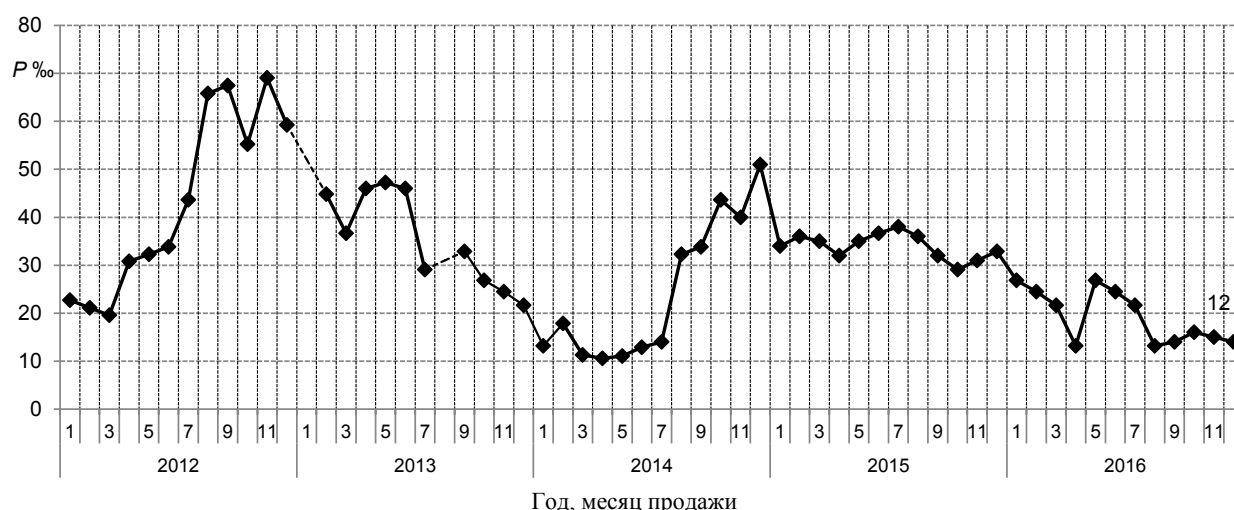


Рис. 10. Диаграмма мониторинга целей в области качества по индексу уровня дефектности на предпродажной подготовке автомобилей (PDI, P %)

Fig. 10. Monitoring diagram of objectives in the field of quality according to index of defect level in the period of premarket car preparation (PDI, P %)

Процесс трансформации целей компании в целевые показатели подразделений на основе реализации второго из рассматриваемых подходов показан в табл. 2.

Таблица 2

**Трансформация целей в области качества компании
в цели подразделений на основе второго подхода**

**Transformation of objectives in the field of company quality into targets of units
on the basis of the second approach**

Подразделение	K % (по результатам трех месяцев эксплуатации)				
	Месяц и год выпуска автомобилей			Среднее значение	Целевой вклад в снижение дефектности на 2017 г.
	01.2016	02.2016	03.2016		
По моделям компании, в целом	195,23	194,14	196,35	195,32	Цель – не менее 10 %
Металлургическое производство	1,20	1,31	1,45	1,32	Вклад – 0,67 %, цель – 1 %
Механосборка	15,80	18,30	16,41	16,83	Вклад – 8,61 %, цель – 9 %
Сборка кузова	7,40	6,52	14,30	9,40	Вклад – 4,81 %, цель – 5 %
Изготовление пластмассовых изделий	0,45	1,23	2,10	1,26	Вклад – 0,64 %, цель – 1 %
Прочие	3,45	4,02	3,78	3,75	Вклад – 1,91 %, цель – 2 %
Инжиниринг	1,98	2,47	3,21	2,55	Вклад – 1,3 %, цель – 1,5 %
Управления по закупкам, в целом	164,95	160,29	155,1	160,11	Вклад – 81 %, цель – 11 %

Основное отличие в процессе трансформации целей (по данным табл. 1 и 2) заключается в том, что в первом случае цели устанавливаются исходя из необходимости обеспечения равномерного снижения уровня дефектности продукции по каждому из подразделений, а во втором проводится дифференциация целевых показателей в зависимости от вклада конкретных подразделений в общий показатель качества автомобилей K %. Дифференцированный подход к назначению целей в подразделениях

более обоснован, поскольку учитывает вклад каждого из них в общее значение целевого показателя.

ВЫВОДЫ

1. Разработана и реализована современная, отвечающая текущим и перспективным тенденциям общая платформа процесса разработки и мониторинга целей в области качества автомобилей в эксплуатации.

2. Применение платформы и ее элементов в практике компаний-автопроизводителей обеспечивает возможности для детального, гармоничного совершенствования системы менеджмента качества и направлено на повышение конкурентоспособности продукции.

3. Дальнейшая работа по совершенствованию предложенной системы заключается в углублении степени детализации вопросов, касающихся перехода от глобальных целей в области качества к единичным показателям дефектности и затрат для реализации процесса прогнозирования достижимости целевых индексов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Деминг, Э. Выход из кризиса. Новая парадигма управления людьми, системами и процессами / Э. Деминг. М.: Альпина Бизнес Букс, 2007. 370 с.
2. Деминг, Э. Новая экономика / Э. Деминг. М.: Эксмо, 2006. 208 с.
3. Quality Management Systems – Requirements: ISO 9001:2015. Geneva, Switzerland, 2015. 29 p.
4. Годлевский, В. Е. Применение статистических методов в автомобилестроении / В. Е. Годлевский, А. Н. Плотников, Г. Л. Юнак. Самара: ГП «Перспектива», 2003. 196 с.
5. Годлевский, В. Е. Менеджмент качества в автомобилестроении / В. Е. Годлевский, Г. Л. Юнак. Самара: Офорт, 2005. 628 с.
6. Модели мониторинга качества автомобилей в эксплуатации / В. Н. Козловский [и др.] // Автомобильная промышленность. 2017. № 1. С. 1–5.
7. Строганов, В. И. Инновационные методы исследования качества и надежности электромобилей и автомобилей с гибридной силовой установкой / В. И. Строганов, В. Н. Козловский. М.: МАДИ, 2012. 260 с.
8. Kozlovskiy, V. Analytical Complex for Company Car-Service Quality Assessment / V. Kozlovskiy, N. Afinogentova, D. Panyukov // Journal of Scientific Research and Development. 2015. Vol. 11, No 2. P. 22–30.
9. Козловский, В. Н. Система оценки качества легковых автомобилей в эксплуатации / В. Н. Козловский, Д. В. Айдаров. Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2017. 159 с.
10. Kozlovskiy, V. The Quality of Automotive Industry: the Remote Monitoring Complex of the Quality of Enterprises Activity of Company Car Service System / V. Kozlovskiy,

D. Panyukov, V. Odruzova // Journal of Biosensors & Bioelectronics. 2016. No 7:4. <https://doi.org/10.4172/2155-6210.1000223>

Поступила 06.03.2017

Подписана в печать 29.05.2017

Опубликована онлайн 27.07.2018

REFERENCES

1. Deming E. (2007) *Out of the Crisis. New Paradigm for Managing People, Systems and Processes*. Moscow, Alpina Biznes Buks Publ. 370 (in Russian).
2. Deming E. (2006) *New Economics*. Moscow, Eksmo Publ. 208 (in Russian).
3. ISO 9001:2015. *Quality Management Systems – Requirements*. Geneva, Switzerland, 2015. 29.
4. Godlevsky V. E., Plotnikov A. N., Yunak G. L. (2003) *Application of Statistical Methods in the Automotive Industry*. Samara, Perspektiva Publ. 196 (in Russian).
5. Godlevsky V. E., Yunak G. L. (2005) *Quality Management in the Automotive Industry*. Samara, Ofort Publ. 628 (in Russian).
6. Kozlovskiy V. N., Panyukov D. I., Afinogentova N. V., Zayatrov A. V. (2017) Monitoring Models of Cars Quality in Operation. *Avtomobilnaya Promyshlennost = Automotive Industry*, (1), 1–5 (in Russian).
7. Stroganov V. I., Kozlovskiy V. N. (2012) *Innovation Methods for Studying Quality and Reliability of Electric Cars and Automobiles with Hybrid Propulsion Unit*. Moscow, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University. 260 (in Russian).
8. Kozlovskiy V., Afinogentova N., Panyukov D. (2015) Analytical Complex for Company Car-Service Quality Assessment. *Journal of Scientific Research and Development*, 11 (2), 22–30.
9. Kozlovskiy V. N., Aydarov D. V. (2017) *Quality Assessment System of Cars in Operation*. Samara, Publishing House of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 159 (in Russian).
10. Kozlovskiy V., Panyukov D., Odruzova V. (2016) The Quality of Automotive Industry: the Remote Monitoring Complex of the Quality of Enterprises Activity of Company Car Service System. *Journal of Biosensors & Bioelectronics*, 7 (4), 223. <https://doi.org/10.4172/2155-6210.1000223>.

Received: 06.03.2017

Accepted: 29.05.2017

Published online: 27.07.2018

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-4-331-337>

УДК 658.7/8.004.67

Экономические основы выбора направлений модернизации сети автомобильных дорог

Канд. экон. наук, доц. И. М. Царенкова¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет транспорта (Гомель, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2018
Belarusian National Technical University, 2018

Реферат. Предложен авторский методический подход к выбору рациональных направлений модернизации сети автомобильных дорог с учетом возрастающих потребностей народного хозяйства в современной транспортной инфраструктуре, формирующихся в условиях развития транспортно-логистической системы страны. Исходная информация, необходимая для вариантной разработки проектных решений, содержит данные о существующих транспортно-эксплуатационных характеристиках дорожной сети, внутри- и межрегиональных транспортно-экономических связях, сформированных логистических цепях поставок, сведения по объемам и структуре перевозок и возможным этапам развития отдельных участков автомобильных дорог. При этом исходные данные имеют ту или иную степень неопределенности, что требует принятия проектных решений с учетом возможности изменения информации в некотором интервале. Предлагаемые варианты использования экономических критериев дают возможность оценивать эффективность логистических систем, участники которых осуществляют операции по поставке и перемещению товаров и грузов по конкретным участкам дорожной сети, исходя из их общих целей не только на национальном или региональном уровне, но и на глобальном, при стратегическом планировании. На выбор метода расчета, как и на структуру расчетной модели, степень ее агрегирования существенное влияние оказывают цели исследования. Построение оптимальной схемы модернизации сети автомобильных дорог сводится к определению такой совокупности проектных решений по строительству, реконструкции и ремонту автомобильных дорог с распределением по годам расчетного периода и отдельным участкам сети и такого распределения грузопотоков по ним, при которых сумма приведенных затрат на перевозку всего объема грузов и на модернизацию участков автомобильных дорог в соответствии с размерами перевозок была бы минимальной.

Ключевые слова: автомобильная дорога, дорожное хозяйство, реконструкция, строительство, логистическая система, цепи поставок

Для цитирования: Царенкова, И. М. Экономические основы выбора направлений модернизации сети автомобильных дорог / И. М. Царенкова // *Наука и техника*. 2018. Т. 17, № 4. С. 331–337. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-4-331-337>

Economic Fundamentals for Selecting Directions for Modernization of Highway Network

I. M. Tsarenkova¹⁾

¹⁾Belarusian State University of Transport (Gomel, Republic of Belarus)

Abstract. The paper proposes a methodological approach to selection of rational directions for modernization of highway network while taking into account an increasing requirements of the national economy in a modern transport infrastructure being formed under conditions of the development of national transport and logistics system. The initial data required for variant development of design solutions contain information on existing transport and operational characteristics of the road

Адрес для переписки

Царенкова Ирина Михайловна
Белорусский государственный университет транспорта
ул. Кирова, 34,
246653, г. Гомель, Республика Беларусь
Тел.: +375 232 95-39-67
tsar_irina@mail.ru

Address for correspondence

Tsarenkova Irina M.
Belarusian State University of Transport
34 Kirova str.,
246653, Gomel, Republic of Belarus
Tel.: +375 232 95-39-67
tsar_irina@mail.ru

network, intra- and inter regional transport and economic relations, formed logistics supply chains, volume and structure of transportation and possible development stages for certain sections of highways. In this case initial data have a certain degree of uncertainty that requires to take design decisions with due consideration of the possibility to change information in a certain interval. The proposed options to use economic criteria make it possible to assess efficiency of logistics systems and their participants carry out operations pertaining to supply and handling of products and cargoes on specific sections of a road network and these measures are proceeding from common goals based not only on national or regional level, but also on the global level in the context of strategic planning. Study objectives play a significant role in selection of a calculation method, as well as its structure, a degree of its aggregation. Construction of an optimal scheme for modernization of a highway network presupposes to determine such totality of design solutions for construction, reconstruction and repair of motor roads with year-wise distribution for calculation period and certain network sections and such distribution of their freight flows when an amount of the reduced costs for transportation of the entire volume of products and modernization of motor roads would be minimal in accordance with transportation rates.

Keywords: highway, road facilities, reconstruction, construction, logistics system, supply chains

For citation: Tsarenkova I. M. (2018) Economic Fundamentals for Selecting Directions for Modernization of Highway Network. *Science and Technique*. 17 (4), 331–337. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-4-331-337> (in Russian)

Введение

В настоящее время происходит пересмотр стратегий развития национальных экономик, в том числе и в части взаимодействия с другими странами, в зависимости от трансформации мировой экономики. Сегодня во многих государствах осуществляется переход к новой координации деятельности экономических субъектов: от рыночно-иерархической координации к кластерно-сетевой, от вертикальной организационной формы к «плоской» горизонтальной [1]. Ставка делается на активное развитие и внедрение инноваций во все отрасли народного хозяйства. Совокупный потенциал наиболее инновационно активных отраслей экономики способствует развитию логистической инфраструктуры, которая обеспечивает комплексное транспортно-распределительное и другое обслуживание, позволяющее интегрировать регионы и страны в единое экономическое пространство, формируя в его пределах инновационную модель экономики [2].

Для Республики Беларусь одной из основных составляющих логистической инфраструктуры являются автомобильные дороги. Современная дорожная сеть страны в своем развитии опирается на стратегии развития Трансъевропейской и Азиатской транспортных сетей [3] и модернизируется в соответствии с направлениями, принятыми в Государственной программе по развитию и содержанию автомобильных дорог в Республике Беларусь на 2017–2020 гг.

Дорожная сеть Беларуси достаточно хорошо развита. Так, по состоянию на 1 января 2017 г.

ее формируют 86896 км автомобильных дорог общего пользования с показателем плотности 418 км на 1000 кв. км территории республики, что является одним из самых высоких среди стран – участниц Содружества Независимых Государств. Однако при этом присутствует большое разнообразие в ее техническом оснащении. По результатам диагностики 2016 г., состояние 29,7 % республиканских автомобильных дорог не соответствует нормативным требованиям, с ограниченной несущей способностью дорожного покрытия до 6 т на ось эксплуатируется 11,5 % республиканских автомобильных дорог. Протяженность местных автомобильных дорог, требующих ремонта, составляет более 30 % от их протяженности. С ограничением несущей способности дорожного покрытия до 6 т на ось эксплуатируется 85,4 % местных автомобильных дорог [4].

Наблюдается различная степень загруженности направлений при неодинаковой структуре и темпах роста грузо- и пассажиропотоков на них. Основная часть транзитных перевозок грузов проходит по направлениям международных транспортных коридоров. По территории республики на этих участках проходят автомобильные дороги М-1 Брест – Минск – граница Российской Федерации, М-8 граница Украины – Гомель – Могилев – Орша – Витебск – граница Российской Федерации и М-5 Минск – Гомель. Важное значение имеют также автомобильные дороги М-10 граница Российской Федерации (Селище) – Гомель – Кобрин, М-6 Минск – Гродно – граница Республики Польша (Брузги) и мн. др. Вышеназванные факторы, наряду с наличием взаимодействующей

щих параллельных направлений местной сети автомобильных дорог, тесной взаимосвязью автомобильных перевозок с другими видами транспорта, обуславливают сложность прогнозирования дальнейшего оптимального развития сети автомобильных дорог.

Выбор направления модернизации сети автомобильных дорог

Существующая дорожная сеть, учитывая требования, предъявляемые мировой экономикой, все в большей степени подвергается структурным преобразованиям, ориентированным на логистику [5]. В таком случае применим иерархический подход [6], предполагающий взаимосвязанные этапы, реализация которых позволит добиться рационального для конкретных экономических условий развития сети автомобильных дорог. На первом этапе требуется разработка стратегии повышения пропускной и провозной способностей, обеспечивающей решение принципиальных вопросов достижения установленного уровня этих показателей для всей сети дорог в целом. Затем в рамках принятых направлений развития данная задача решается для отдельных полигонов или определенных направлений движения грузопотоков. На завершающем этапе разрабатывается конкретный комплекс мероприятий по повышению пропускной и провозной способностей отдельных участков дорог. Таким образом, решение задачи построения рациональной схемы (оптимальной в рамках установленных параметров) развития сети автомобильных дорог сводится к определению такой совокупности проектных решений по строительству, реконструкции и ремонту автомобильных дорог на каждый год расчетного периода (t) по участкам сети (i, j) и такого распределения грузопотоков по ним, при которых сумма приведенных затрат на перевозку всего объема грузов и на модернизацию участков автомобильных дорог в соответствии с размерами перевозок была бы минимальной [7].

Исходная информация для выбора проектного решения по модернизации сети автомобильных дорог отличается некоторой степенью неопределенности. Как правило, имеется диа-

пазон изменения значений исходных данных, например интенсивности движения транспортных средств, состава транспортного потока, объемов перевозки грузов и пассажиров и т. п. Для повышения технико-экономической обоснованности принимаемого варианта целесообразно проверять устойчивость оптимальности принятого решения при различных значениях исходных данных в границах возможного диапазона их колебания [8–10]. При выборе направлений модернизации сети автомобильных дорог в зависимости от характера неопределенности исходной информации могут быть различные случаи.

1. Известны численные значения вероятности возможных величин исходных данных в диапазоне их колебания (например, среднегодовой прогнозный рост интенсивности движения, прогнозные значения объемов перевозок на основе проведения регрессионного анализа). При этом в качестве критерия возможно использовать математическое ожидание показателя оптимизации развития сети [11]. Для суммы приведенных затрат при многоэтапных капитальных вложениях математическое ожидание

$$\Theta(Z_{\text{прив}}) = \sum_{t=1}^T K_t \eta_t + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{n_t} C_{it} P_{it} \eta_t, \quad (1)$$

где $\Theta(Z_{\text{прив}})$ – математическое ожидание приведенных затрат по рассматриваемому варианту; K_t – капитальные вложения в t -й год; η_t – коэффициент дисконтирования; T – расчетный период, за который учитываются расходы по вариантам; t – шаг расчета; C_{it} – эксплуатационные расходы в t -м году, соответствующие вероятности их изменения по варианту i ; P_{it} – вероятность того, что эксплуатационные расходы в t -й год составят C_{it} ; n_t – число возможных вариантов изменения эксплуатационных расходов в t -й год.

В соответствии с этим показателем, критерием выбора наиболее эффективного решения является $\min \Theta(Z_{\text{прив}})$.

2. Численные значения P_{it} не могут быть установлены, однако можно определить степень предпочтения предельных вариантов изменения исходной информации. В этом случае

экономически наиболее эффективный вариант проектного решения может быть найден при минимизации обобщенного минимакса приведенных затрат

$$\alpha = \min_j \left[\beta \min_i Z_{\text{прив}ij} + (1 - \beta) \max_i Z_{\text{прив}ij} \right], \quad (2)$$

$$i = \overline{1, N_n^{(j)}}; \quad j = \overline{1, N_b},$$

где $Z_{\text{прив}ij}$ – i -е значение приведенных затрат для j -го проектного варианта; $N_n^{(j)}$ – число возможных значений приведенных затрат j -го варианта; N_b – то же, сравниваемых вариантов; β – показатель оптимизма, отражающий вероятность такого изменения исходной информации j -го варианта, которое соответствует минимальному значению приведенных затрат, $0 \leq \beta \leq 1$.

3. Когда нельзя отдать предпочтение ни одному значению исходных данных перед другими параметрами во всем диапазоне возможных их колебаний, выбор проектного решения целесообразно производить в соответствии с минимаксными превышениями приведенных затрат. Максимальное превышение приведенных затрат для j -го проектного варианта выражается зависимостью

$$\tau_j = \max \begin{cases} \max_i Z_{\text{прив}ij} - \min_j \max_i Z_{\text{прив}ij}; \\ \min_i Z_{\text{прив}ij} - \min_j \min_i Z_{\text{прив}ij}; \end{cases} \quad (3)$$

$$i = \overline{1, N_n^{(j)}}; \quad j = \overline{1, N_b}.$$

Вариант, для которого τ_j минимально, принимается как экономически наиболее эффективный.

При этом критерий оптимальности проектных решений в общем случае может быть представлен в виде следующей функции, имеющей множество вариантов, в зависимости от видов оптимизационных задач

$$S(x_i, t_i) \rightarrow \min(\max), \quad i = 1, \dots, n, \quad (4)$$

где S – показатель оптимальности проектного решения; x_i – i -е мероприятие; t_i – год осуществления i -го мероприятия; n – число мероприятий.

В зависимости от величины расчетного периода (дальности горизонта расчета) при выбо-

ре рациональных сочетаний реконструкции и ремонта на различных участках сети автомобильных дорог целесообразно использовать разные математические методы. Так, при формировании программы дорожных работ на период, в пределах которого точно известны все исходные параметры, необходимые для принятия и оценки проектных решений, можно использовать детерминированные модели и методы. При разработке стратегии развития дорожной сети на долгосрочный период, когда данные об объемах перевозок, их структуре, стоимостных показателях производства строительно-монтажных работ на дорогах, затратах на последующее содержание и другое носят вероятностный характер, значительно повышается роль стохастических методов расчета.

Стохастический вариант развития сети автомобильных дорог определяется случайным порядком удовлетворения транспортно-экономических связей между участниками различных логистических систем. Случайная величина N_j – порядковый номер удовлетворения очередной логистической цепи поставок, – равномерно распределенная в интервале $[m_0, m_k]$, определяется по формуле

$$N_j = E \left[\xi_i \left(\sum m_k - 1 \right) \right] + 1, \quad (5)$$

где $E[]$ – символ целой части числа; ξ_i – случайная величина, равномерно распределенная в интервале от 0 до 1; m_0, m_k – начальный и конечный номера логистических цепей; $\sum m_k$ – общее число логистических цепей в составе логистической системы, использующей данную сеть автомобильных дорог.

Очередная k -я логистическая цепь, обеспечивающая доведение конкретной партии продукции до потребителя, удовлетворяется таким образом, чтобы принятые мероприятия по модернизации сети автомобильных дорог обеспечили ее функционирование при минимальной сумме приведенных затрат. При этом мероприятия, предусмотренные для наивыгоднейшего удовлетворения предыдущих $(k - 1)$ потребностей участников логистических систем в сфере продвижения продукции с использованием автомобильного транспорта, считаются фиксиро-

ванными. Таким образом, возможно последовательное улучшение параметров автомобильных дорог с целью удовлетворения транспортно-экономических связей между участниками логистических систем, повышения эффективности функционирования логистических цепей поставок, что в итоге приведет к формированию очередного варианта развития дорожной сети. При этом возможно предусмотреть предоставление приоритета тем или иным участкам автомобильных дорог.

Переход к логистическим системам требует обоснования экономической эффективности применения определенных транспортных схем доставки грузов от поставщика до потребителя по автомобильным дорогам в рамках формируемых логистических цепей с учетом специфики экономических отношений, реально существующего транспортно-эксплуатационного уровня дорог и технического оснащения транспортных средств. Очередная сформированная логистическая цепь поставки должна удовлетворять свои потребности в перемещении материального потока по дорожной сети с минимальными транспортными затратами за счет строительства новых дорог или реконструкции существующих таким образом, чтобы был обеспечен минимум суммарных приведенных затрат. Поиск оптимального варианта удовлетворения потребности в оптимальных дорожных условиях для перевозки грузов может быть осуществлен методом последовательного улучшения некоторого исходного варианта, имеющего заведомо большое значение $[Z_{\text{прив}}]$, т. е. варианта, наверняка неоптимального. Любой конкретный вариант улучшения технических параметров сети или транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог будет рациональнее исходного. При построении очередного варианта удовлетворения транспортно-экономических связей целесообразно включение в его состав участков дорожной сети, ранее не рассматриваемых для модернизации. Дальнейшее продолжение построения варианта на каждом шаге целесообразно при условии $Z_{\text{прив}(j)} \leq [Z_{\text{прив}}]$, где $Z_{\text{прив}(j)}$ – приведенные затраты по всем рассмотренным на предыдущих шагах участкам.

Важно исключить из рассмотрения те участки автомобильных дорог, которые явно не примут участия в формировании оптимального варианта. Пусть в логистической системе для поставщика l и потребителя m имеется такая область W , выход за которую приводит к неоптимальному решению. Тогда все участки дорог, не принадлежащие W , могут быть исключены из области поиска оптимального варианта. Если при этом затраты, к примеру, на реконструкцию дороги и эксплуатационные расходы на ней составляют $Z_{\text{прив}(l,m)}$, то в область W должны входить лишь те варианты обеспечения связи (l, m) , которые имеют $Z_{\text{прив}(j)} \leq Z_{\text{прив}(l,m)}$. Уравнение границы области W можно определить из условий:

$$Z_{\text{прив}(j)} = Z_{\text{прив}(l,m)}; \quad (6)$$

$$Z_{\text{прив}(j)} = \sum_1^n a_j L_j + C_j L_j; \quad (7)$$

$$Z_{\text{прив}(l,m)} = a_{l,m} L_{l,m} + C_{l,m} L_{l,m}, \quad (8)$$

где $C_j, C_{l,m}$ – эксплуатационные расходы, приходящиеся на 1 км; $a_j, a_{l,m}$ – удельные капитальные вложения, необходимые для обеспечения транспортировки грузов между l, m ; $L_j, L_{l,m}$ – длина маршрута удовлетворения транспортно-экономической связи l, m по кратчайшему направлению и j -му варианту.

Преобразуя (6), получим $L_j(a_j + C_j) = L_{l,m}(a_{l,m} + C_{l,m})$, откуда

$$\lambda = L_j / L_{l,m} = (a_{l,m} + C_{l,m}) / (a_j + C_j). \quad (9)$$

То есть граница области W представляет собой эллипс, в фокусах которого лежат пункты l и m . Параметры этого эллипса определяются по зависимостям:

$$a = \frac{\lambda L_{l,m}}{2}; \quad (10)$$

$$b = \frac{L_{l,m}}{2} \sqrt{\lambda^2 - 1}.$$

Величина λ , а следовательно, и область W могут быть определены для различных вариантов заранее. При этом перебор возможных путей удовлетворения потребностей участников логистических систем в обеспечении оптимальными дорожными условиями при перевозке грузов по автомобильным дорогам и выбор наивыгоднейшего из них необходимо осуществлять таким образом, чтобы избежать повторного просчета экономических показателей по участкам дорог, входящим в состав различных маршрутов.

ВЫВОДЫ

1. В настоящее время усложняется процесс реализации товаров. Эта задача решается путем уменьшения цены или повышения качества товаров. Наиболее быстрыми темпами цена продукции может быть снижена за счет транспортной составляющей. Главной задачей логистической системы является обеспечение минимальных издержек на всей логистической цепи с целью получения конкурентоспособной продукции в пункте ее потребления. Одним из путей достижения поставленной цели служит выбор оптимального маршрута перевозки по критерию минимальных транспортных затрат. Область решения данной задачи находится в прямой зависимости от транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог и их пропускной и провозной способностей, что, в свою очередь, требует поиска оптимального варианта развития дорожной сети в соответствии с возрастающими объемами перевозок. Предлагаемый подход базируется не только на минимизации общих затрат на материальное распределение товаров с обеспечением максимальной прибыли от логистических операций всех участников, но и на учете социальных, экологических и политических аспектов при максимальном соотношении выгод и затрат. Экономическая оценка эффективности логистических систем основана на взаимосвязи двух сторон логистической цепи доставки грузов: предъявляемых рынком объемов перевозок и обеспечивающих эти перевозки дорожных условий. Такой метод дает возможность ре-

шить существующие проблемы методологического и технического характера, связанные с отсутствием хорошо отлаженного организационно-экономического механизма, позволяющего определять и корректировать взаимное влияние схем доставки грузов и дорожных условий их реализации на конечную цену товара.

2. Предлагается методический подход к оптимизации развития сети автомобильных дорог, использующий современный математический аппарат. Анализ принципиальных решений, полученных при оптимизации развития полигонов дорожной сети, позволяет перейти к задаче увеличения пропускной и провозной способностей участков автомобильных дорог на конкретных направлениях перевозки грузов. Затем разрабатываются рекомендации по развитию отдельных участков автомобильных дорог с учетом повышения их транспортно-эксплуатационных качеств. Заключительный этап поиска оптимального варианта развития дорожной сети связан с взаимной увязкой полученных решений в масштабе всей сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Войтов, И. В. «Новая экономика» – основа трансформаций в Беларуси / И. В. Войтов, И. В. Новикова // Новости науки и технологий. 2017. Т. 41, № 2. С. 58–61.
2. Логинова, Е. В. Развитие логистической инфраструктуры как фактор формирования инновационной модели экономики в условиях нестабильности / Е. В. Логинова, П. В. Попов, И. Ю. Мирецкий // Новости науки и технологий. 2016. Т. 38, № 3. С. 16–23.
3. Транспортно-логистическая система Республики Беларусь: теория, методология, практика / под общ. и науч. ред. Р. Б. Ивутя. Волгоград: Сфера, 2016. 292 с.
4. Государственная программа по развитию и содержанию автомобильных дорог в Республике Беларусь на 2017–2020 годы [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Республики Беларусь, 18 сентября 2017 г., № 699 // Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь. Режим доступа: <http://www.pravo.by/novosti/novosti-pravo-by/2017/september/25645/>. Дата доступа: 01.10.2017.
5. Царенкова, И. М. Развитие системы перевозки грузов по автомобильной дороге на основе принципов логистики / И. М. Царенкова // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. 2017. Т. 5, № 71. С. 19–27. <https://doi.org/10.15802/stp2017/114541>.

6. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати; перевод с англ. Р. Г. Вачнадзе. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.
 7. Царенкова, И. М. Основы развития логистических систем в дорожном хозяйстве / И. М. Царенкова. Гомель: БелГУТ, 2017. 211 с.
 8. Харчистов, Б. Ф. Методы оптимизации / Б. Ф. Харчистов. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004. 140 с.
 9. Baidya, A. Models for Solid Transportation Problems in Logistics Using Particle Swarm Optimisation Algorithm and Genetic Algorithm / A. Baidya, U. K. Bera, M. Maiti // *International Journal of Logistics Systems and Management*. 2017. Vol. 27, No 4. P. 487. <https://doi.org/10.1504/ijlsm.2017.10005788>.
 10. Rybakov, D. S. Total Cost Optimisation Model for Logistics Systems of Trading Companies / D. S. Rybakov // *International Journal of Logistics Systems and Management*. 2017. Vol. 27, No 3. P. 318. <https://doi.org/10.1504/ijlsm.2017.10005118>.
 11. Зудилова, Т. В. Методы моделирования и оптимизации в инфокоммуникационных системах и сетях / Т. В. Зудилова. СПб.: Символ-Плюс, 2013. 131 с.
- Поступила 27.03.2018
Подписана в печать 28.06.2018
Опубликована онлайн 27.07.2018
- REFERENCES
1. Voitov I. V., Novikova I. V. (2017) "New Economy " – Basis of Transformations in Belarus. *Novosti Nauki i Tekhnologii = Science and Technology News*, 41 (2), 58–61 (in Russian).
 2. Loginova E. V., Popov P. V., Miretsky I. Yu. (2016) Development of Logistics Infrastructure as Factor for Formation of Innovative Model in Economics under Conditions of Instability. *Novosti Nauki i Tekhnologii = Science and Technology News*, 38 (3), 16–23 (in Russian).
 3. Ivut' R. B. (ed.), Kisel' T. R., Popov P. V., Khartovskii V. E., Shevchenko O. V. (2016) *Transport and Logistics System of the Republic of Belarus: Theory, Methodology, Practice*. Volgograd, Publishing House "Sphera". 292 (in Russian).
 4. The State Programme for Development and Maintenance of Roads in the Republic of Belarus for 2017–2020: Decree of the Council of Ministers of the Republic of Belarus, September 18, 2017, No 699. *National Legal Internet Portal of the Republic of Belarus*. Available at: <http://www.pravo.by/novosti/novosti-pravo-by/2017/september/25645/> (Accessed 1 October 2017) (in Russian).
 5. Tsarenkova I. M. (2017) Development of Cargo Transportation System while Using Automobile Roads on the Basis of Logistics Principles. *Nauka ta Progres Transportu. Visnik Dnipropetrovs'kogo Nacional'nogo Universitetu Zalizničnogo Transportu = Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 5 (71), 19–27 (in Russian). <https://doi.org/10.15802/stp2017/114541>.
 6. Saaty T. L. (1980) *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw Hill. 287.
 7. Tsarenkova I. M. (2017) *Main Principles for Development of Logistics Systems in Road Sector*. Gomel, Belarusian State University of Transport. 211 (in Russian).
 8. Kharchistov B. F. (2004) *Optimization Methods*. Taganrog, Taganrog State University of Radioengineering. 140 (in Russian).
 9. Baidya A., Bera U. K., Maiti M. (2017) Models for Solid Transportation Problems in Logistics Using Particle Swarm Optimisation Algorithm and Genetic Algorithm. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 27 (4), 487. <https://doi.org/10.1504/ijlsm.2017.10005788>.
 10. Rybakov D. S. (2017) Total Cost Optimisation Model for Logistics Systems of Trading Companies. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 27 (3). 318. <https://doi.org/10.1504/ijlsm.2017.10005118>.
 11. Zudilova T. V. (2013) *Methods for Modeling and Optimization in Information and Communication Systems and Networks*. Saint-Petersburg, Simvol-Plus Publ. 131 (in Russian).
- Received: 27.03.2018
Accepted: 28.06.2018
Published online: 27.07.2018

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-4-338-343>

УДК 338.2 (476)+316.42 (476)

Системный анализ показателей социально-экономической безопасности

Канд. экон. наук Д. Н. Швайба¹⁾

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

© Белорусский национальный технический университет, 2018
Belarusian National Technical University, 2018

Реферат. Проводя системный анализ показателей социально-экономической безопасности, необходимо отметить, что к ним, как правило, относятся: показатели уровня и качества жизни населения, степень защищенности социально-экономической системы, уровень финансовой независимости государства, положение системы управления социально-экономической безопасностью. Все перечисленные и ряд других характеристик при обеспечении социально-экономической безопасности перекликаются, и важно сохранять их баланс и взаимоувязку. Оценка социально-экономической защищенности макросистемы может быть реализована, среди прочего, с применением матричного способа. С его помощью оцениваются: возможность появления угрозы в связи с переменной конкретного показателя, уровень воздействия на защищенность государства, длительность и скорость изменений ненужных проявлений. Матрица позволяет квалифицировать те опасности, при которых возможность появления небезопасной ситуации доходит до значения, требующего неотложных мер по улучшению обстановки, принятию специальных мер. Предложенный в статье способ демонстрирует видимые результаты и относится к статическим методам анализа. При плавном изменении эволюционных характеристик системы данный способ показывает достаточно неплохие результаты. Горизонт мониторинга этих моделей – один-два года. При этом необходимо учесть, что в случае оперативного изменения характеристик от одних показателей к другим предложенный способ малопригоден, поскольку применяют статистику прошлых периодов, которая характеризовала данную систему, на тот момент находившуюся в совершенно иных обстоятельствах. В такой ситуации на всех уровнях социально-экономических систем появляется неувязка в создании способов, которые достаточным образом принимают во внимание динамику перемен в системе.

Ключевые слова: социально-экономическая безопасность, государство, общество, предприятие, работник, угроза, защищенность, интересы, экономика, анализ, система, матрица

Для цитирования: Швайба, Д. Н. Системный анализ показателей социально-экономической безопасности / Д. Н. Швайба // *Наука и техника*. 2018. Т. 17, № 4. С. 338–343. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-4-338-343>

Systematic Analysis of Indicators for Socio-Economic Security

D. N. Shvaiba¹⁾

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

Abstract. Conducting a systematic analysis of indicators for socio-economic security it is necessary to point out that fundamental groups of characteristics pertaining to socio-economic security include the following indicators: social standard and quality of living, degree of socio-economic system security, level of national financial independence, situation with management system and provision of socio-economic security. All the mentioned and some other indicators have something in common while ensuring socio-economic security and, for this reason, it is important to keep their balance and coherence. Evaluation of socio-economic security for a macro-system can be implemented among other tasks while using matrix method. According to this method it is possible to evaluate a possibility of threat appearance due to changes in a specific indicator, level of impact on national security, duration and time rate of changes in unwanted manifestations. The matrix makes

Адрес для переписки

Швайба Дмитрий Николаевич
Белорусский национальный технический университет
ул. Я. Коласа, 12,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 292-75-31
shvabia@tut.by

Address for correspondence

Shvaiba Dzmitry N.
Belarusian National Technical University
12 Ya. Kolasa str.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 292-75-31
shvabia@tut.by

it possible to classify those dangers when there is a possibility of an unsafe situation occurrence to such extent that it is required to undertake urgent measures to improve the situation and take special actions. The proposed method demonstrates visible results and it is considered as a statistical method of analysis. The given method presents rather good results while making smooth changes in evolutionary characteristics of the system. Monitoring horizon of these models is 1–2 years. In this context it is necessary to take into account that the proposed method is hardly suitable in the case when there are prompt changes in characteristics from one group of indicators to the other one. This is due to the fact that statistics of past periods has been applied and it characterized the given system which was under completely different circumstances at that moment. If this is the case then there is a discrepancy in creation of methods at all levels of socio-economic systems and these methods adequately take into account dynamics of changes in the system.

Keywords: socio-economic security, state, society, enterprise, employee, threat, security, interests, economics, analysis, system, matrix

For citation: Shvaiba D. N. (2018) Systematic Analysis of Indicators for Socio-Economic Security. *Science and Technique*. 17 (4), 338–343. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-4-338-343> (in Russian)

Введение

Для формирования механизма обеспечения социально-экономической безопасности нужно создать спектр законодательно-правовых, финансовых и административных процедур, конечной целью которых может стать предотвращение случаев, когда величины фактических и предсказываемых показателей-индикаторов защищенности отклоняются от собственных пороговых значений в ненужную сторону либо в ненужных объемах. Поэтому нужен регулярный прогноз для своевременного выявления вероятности появления небезопасной ситуации. Осознавая это, в отдельных государствах характеристики мониторингов социально-экономических факторов начали формировать на среднесрочную перспективу [1].

Вместе с тем на сегодняшний день нет универсального комплекса характеристик, который достаточным образом раскрыл бы положение социально-экономической защищенности. В этой связи важны наиболее детальные и точные оценки и инструментарий [2–6].

Постановка задачи

В отдельных источниках [7, с. 8] под аспектом социально-экономической безопасности понимается оценка состояния экономики с точки зрения важных процессов, отображающих суть социально-экономической защищенности. Сюда интегрированы характеристики общественной устойчивости и критерии предотвращения и разрешения общественных инцидентов. В качестве показателей социально-экономической безопасности предлагаются: степень и качество жизни, темпы инфляции, норма безработицы, наличие и уровень теневой экономи-

ки. Пороговые показатели используемых характеристик рассматриваются как предельные величины, нарушение которых мешает обычному ходу развития всевозможных составляющих воспроизводства, приводит к формированию неблагоприятных, разрушительных веяний в области социально-экономической защищенности.

К основополагающим группам характеристик социально-экономической безопасности, как правило, относятся: показатели жизни населения, степень защищенности экономической системы, уровень финансовой независимости, положение системы управления социально-экономической безопасностью [8, с. 78].

Разработка системы характеристик оценки социально-экономической безопасности, определение их пороговых значений, тестирование ситуаций, влияющих на данную оценку, представляют особый интерес. Наиболее популярный подход основывается на сравнительном анализе социально-экономической защищенности ряда хозяйствующих субъектов с целью установления характеристик, уже пребывающих в небезопасном состоянии и угрожающих их отношениям [9; 10, с. 24].

Как правило, все характеристики делятся на сравнительные, абсолютные и пропорциональные.

Пороговые величины сравнительных характеристик выявляются методом сопоставления с величинами тех же характеристик у известных экономических соперников.

Пропорциональные характеристики определяют пропорцию всевозможных составляющих системы социально-экономической безопасности, которые обеспечивают прочность системы независимо от одного или другого состояния экономики.

Пороговые величины абсолютных характеристик выявляются актуальными запросами населения и находятся в зависимости от предпочтений, традиций общества, а также природно-климатических условий. Их количество может быть разнообразным. Важными показателями, которые наиболее часто применяются на практике, считаются следующие:

- объем продукции прогрессивных технологий в экспорте, %;
- динамика размера ВВП по отношению к базисному году, %;
- расходы на научные разработки, % к ВВП;
- степень продовольственной защищенности (доля в употреблении импортируемых товаров), %;
- соотношение минимальной и средней заработной платы;
- соотношение минимального прожиточного уровня и среднего дохода;
- показатель безработицы, учитывая скрытую безработицу, %;
- децильный коэффициент (соотношение дохода 10 % наиболее обеспеченного слоя населения и 10 % наиболее бедного);

- баланс рождающихся и умирающих;
- суммарный коэффициент рождаемости;
- коэффициент старения населения;
- показатель легитимности власти (процент людей, которые доверяют и не доверяют государственным органам).

Некоторые ученые помещают в данный ряд степень инвестирования в экономику, отмечая, что ценность внутренних источников инвестирования над иностранными считается гарантией обеспечения стойкого социально-экономического прогресса и государственной безопасности страны [11, с. 20].

Пороговые величины вышеуказанных характеристик уточняются на базе мирового опыта, и существенная их доля применима для всех государств, автономно от степени их текущего состояния. Для одного или другого государства они имеют все шансы отличаться только по природно-климатическим условиям, историческому опыту, демографической обстановки и т. д.

При выявлении пороговых значений исходят из определенных оценок (табл. 1).

Таблица 1

Предельные характеристики показателей социально-экономической безопасности макросистемы

Limiting characteristics of indicators for socio-economic security of macro-system

Показатель	Предельная характеристика
Количество населения, имеющего доходы ниже прожиточного минимума, %	7
Количество граждан, выступающих за изменение политической системы, %	40
Показатель бедности, %	10
Коэффициент Джини (концентрация доходов), %	0,15–0,17
Соотношение минимальной и средней заработной платы, разы	1:3
Коэффициент депопуляции, разы	1
Объем внешних заимствований в покрытии бюджетного дефицита, %	30
Объем денежной массы, % к ВВП	50
Объем импорта во внутреннем потреблении, %: всего (продовольствия)	30 (30)
Число лиц старше 65 лет по отношению к численности населения, %	7
Дефицит бюджета, % к ВВП	5
Децильный коэффициент, разы	10
Темп роста ВВП, %	2,7–4
Размер внешнего долга, % к ВВП	25
Размер внутреннего долга, % к ВВП	30
Количество иностранной валюты по отношению к рублевой массе, %	10
Ставка кредитных ресурсов, %	5–7
Размер инвестиций, % к ВВП	25
Природоохранные мероприятия, %	5
Продолжительность жизни, лет	75–79
Расходы на научные разработки, % к ВВП	2

Окончание табл. 1

Показатель	Предельная характеристика
Экологические потери, % к ВВП	5
Соотношения цен товаров и количества денег, разы	1:1,3
Сложившаяся потребность в обслуживании и погашении внутреннего долга, % к налоговым поступлениям бюджета	25
Темп роста ВВП в период существенных трансформаций, %	Отрицательный, или 0,5–1,5 (в течение 2–3 лет)
Уровень безработицы в период существенных трансформаций, %	15,7–20,0 (в течение 3–5 лет)
Показатель безработицы, %	8–10
Показатель доверия населения к органам власти, %	25
Показатель инфляции за год, %	5–6
Показатель потребления алкоголя, л абс. на человека в год	8
Показатель преступности (число преступлений на 100 тыс. населения), тыс. чел.	5–6
Показатель распространенности психической патологии на 1000 чел.	360
Примечание. Источник – разработка автора на основе [14–16].	

Оценка социально-экономической защищенности макросистемы может быть реализована с применением матричного способа [12, с. 18; 13]. С его помощью оцениваются: возможность появления угрозы в связи с переменной конкретного показателя, уровень воздействия на защищенность государства, длительность и скорость изменений ненужных проявлений.

Отметим, что обозначенный в табл. 1 индекс Джини, не превосходящий 0,25, имеется в таких государствах, как: Бельгия, Дания, Норвегия, Финляндия, Швеция, Япония, с развитой общественной регуляцией трудовых отношений и весомым госсектором. В этой модели представлены практически однородные вводные данные для всех стран мирового сообщества в отношении регуляции занятости, заработной платы и доступности общественного обеспечения. И напротив, индекс Джини, превосходящий 0,41, имеется как в США, так и, например, в развивающихся государствах (Венесуэла, Перу, Таиланд, Уругвай, Эквадор и др.), где ситуация на рынке регулируется, как правило, посредством рыночных механизмов [17, с. 306].

Матрица (табл. 2) позволяет квалифицировать те опасности, при которых возможность появления небезопасной ситуации доходит до значения, требующего неотложных мер по улучшению обстановки.

Таблица 2

**Матричный способ оценки
социально-экономической защищенности**

**Matrix method for evaluation
of socio-economic protectability**

Уровень социально-экономической защищенности	Предельная величина уровня	Текущее значение			Среднее значение за период y_1 – y_3	Отношение среднего значения к предельному	Номер клетки матрицы
		y_1	y_2	y_3			
ПСЭЗ1	x_1						
Объект 1		D_{11}	D_{12}	D_{13}	$\overline{D_1}$	$\frac{\overline{D_1}}{x_1}$	1
...		D_{21}	D_{22}	D_{23}	$\overline{D_2}$	$\frac{\overline{D_2}}{x_1}$	
Объект N		D_{31}	D_{32}	D_{33}	$\overline{D_3}$	$\frac{\overline{D_3}}{x_1}$	
ПСЭЗ2	x_2						
Объект 1		...	...	...	...	...	1
...		...	...	...	...	...	...
Объект N		...	...	...	...	...	...
ПСЭЗ3	x_3						
...	...	...	...	...	...	...	...
Примечание. Источник – разработка автора.							

Для определения степени влияния различных характеристик имеют все шансы быть приняты следующие оценки:

- влияние оценивается как малозначительное, в случае если оно располагается в спектре 0,66–1;
- влияние оценивается как среднее, если оно располагается в спектре 1–3;
- влияние оценивается как существенное, если оно более 3.

Возможность появления опасности для всякого объекта обычно определяется способом дискриминантного анализа

$$G = \int (D_{y1}, D_{y2}, D_{y3}).$$

Для нахождения вероятности появления опасности приняты оценки:

- вероятность появления опасности низкая, если $0 \leq G < 0,33$;
- вероятность появления опасности средняя, если $0,33 \leq G < 0,66$;
- вероятность появления опасности высокая, если $0,66 < G \leq 1$.

После этого по результатам исследования заполняется табл. 3. На основе данных результатов производится сравнительный анализ состояний защищенности различных объектов.

Таблица 3

Матрица соответствия вероятности появления степени влияния опасности для каждого объекта

Compliance matrix of probability for occurrence of danger impact degree for every object

Вероятность появления	Степень влияния		
	Низкая	Средняя	Большая
Большая	6	8	9
Средняя	3	5	1 ПСЭ32
Низкая	1 ПСЭ31, ПСЭ33	2	4

Примечание. Источник – разработка автора.

Единая шкала оценки подразумевает надлежащую градацию состояния социально-экономической защищенности:

- угроза (в длительном периоде показатель социально-экономической защищенности остается на уровне, существенно отклоняющемся от собственного порогового показателя, и не имеет возможности быть измененным за счет иных факторов);
- опасность (фактический показатель колеблется в спектре, близком к конкретному пороговому значению);

- защищенность (показатель социально-экономической защищенности в длительном периоде располагается довольно далеко от конкретного порогового значения).

ВЫВОД

Предложенный способ предоставляет видимые результаты и относится к статическим методам анализа. При плавном изменении эволюционных характеристик системы данный способ показывает достаточно неплохие результаты. Горизонт мониторинга этих моделей – один-два года. В случае скорых переходов характеристик от одних значений к другим такие способы малоприменимы, поскольку применяют статистику прошлых периодов, которая характеризовала систему, находившуюся в иных критериях. В этой связи на всех уровнях социально-экономических систем появляется неувязка в создании способов, которые достаточно точно принимают во внимание динамику перемен в системе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сценарные условия, основные параметры прогноза социально-экономического развития Российской Федерации и предельные уровни цен (тарифов) на услуги компаний инфраструктурного сектора на 2017 год и на плановый период 2018 и 2019 годов [Электронный ресурс] // Министерство экономического развития Российской Федерации. Режим доступа: <http://economy.gov.ru/minec/about/structure/depMacro/20160506>. Дата доступа: 15.05.2016.
2. Швайба, Д. Н. Основные критерии социально-экономической безопасности / Д. Н. Швайба // Научные труды Республиканского института высшей школы: филос.-гуманит. науки. Минск, 2017. Вып. 16. С. 408–414.
3. Швайба, Д. Н. Анализ составляющих социально-экономической безопасности / Д. Н. Швайба // Проблемы управления. 2017. Т. 65, № 3. С. 96–102.
4. Швайба, Д. Н. К вопросу о социально-экономической безопасности государства / Д. Н. Швайба // Труд и социальные отношения. 2017. Т. 141, № 3. С. 19–24.
5. Швайба Д. Н. Проблемные аспекты и формирование целей обеспечения демографической безопасности Республики Беларусь / Д. Н. Швайба // Бюллетень науки и практики. 2017. Т. 25, № 12. С. 492–496. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/shvaiba>. Дата доступа: 15.12.2017. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3092071>.
6. Швайба, Д. Н. Проблемы согласования целей и жизненных интересов при обеспечении социально-экономической безопасности / Д. Н. Швайба // Наука и техника. 2017. Т. 16, № 6. С. 526–531. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2017-16-6-526-531>.

7. Шестак, В. П. Частно-государственное партнерство, «тройная спираль» и корпоративная социальная ответственность / В. П. Шестак // Вестник Финансового университета. 2016. Т. 20, № 4. С. 6–16.
8. Кулик, Ю. П. Социальные последствия структурной и институциональной деформации системы экономической безопасности России / Ю. П. Кулик, В. В. Московцев, Е. Ю. Меркулова // Социально-экономические явления и процессы. 2015. Т. 10, № 10. С. 76–81.
9. Экономика роста [Электронный ресурс]: доклад, октябрь 2015 г. / Столыпинский клуб // Эксперт Online. Режим доступа: http://expert.ru/data/public/499741/499785/dir-polnaya-versiya-19_10_15.pdf. Дата доступа: 16.05.2016.
10. Вахтина, М. А. Социальная справедливость как фактор экономического развития / М. А. Вахтина // Вестник Пермского университета. Сер.: Экономика. 2016. № 4. С. 22–30.
11. Экономическая безопасность: Производство – Финансы – Банки / А. И. Архипов [и др.]; под ред. В. К. Сенчагова. М.: Финстатинформ, 1998. 621 с.
12. Ярошевич, В. И. Концептуальные основы усиления инвестиционного потенциала Республики Беларусь / В. И. Ярошевич // Банк. весн. 2015. № 6. С. 17–21.
13. Маркосян, А. Х. Экономическая безопасность как важнейшая проблема Южно-Кавказского региона / А. Х. Маркосян // Проблемы современной экономики. 2005. № 3/4. С. 119–126.
14. Владимиров, В. А. Управление риском: Риск. Устойчивое развитие. Синергетика / В. А. Владимиров, Ю. Л. Воробьев, С. С. Салов. М.: Наука, 2000. 429 с.
15. Экономика и организация безопасности хозяйствующих субъектов. / В. С. Гусев [и др.]. СПб.: Питер, 2004. 288 с. 2-е изд.
16. Осипов, Г. В. Доклад на Втором Всероссийском конгрессе социологов 23–26.09.2003 в МГУ [Электронный ресурс] / Г. В. Осипов. Режим доступа: <http://www.ispr.ru/Confer/confer16-2.html>. Дата доступа: 01.09.2017.
17. Соколова, Г. Н. Экономическая реальность в социальном измерении: экономические выводы и социальные ответы / Г. Н. Соколова. Минск: Беларус. навука, 2010. 458 с.
3. Shvaiba D. N. (2017) Analysis of Components for Socio-Economic Security. *Problemy Upravleniya = The Issues of Administration and Management*, 65 (3), 96–102 (in Russian).
4. Shvaiba D. N. (2017) To the Problem on State Socio-Economic Security. *Trud i Sotsialnye Otnosheniya = Labour and Social Relations*, 141 (3), 19–24 (in Russian).
5. Shvaiba D. N. (2017) Problematic Aspects and Formation of Purposes for Provision of Demographic Security in the Republic of Belarus. *Biulleten Nauki i Praktiki = Bulletin of Science and Practice*, 25 (12). 492–496 (in Russian). <https://doi.org/10.2139/ssrn.3092071>.
6. Shvaiba D. N. (2017) Problems on Harmonization of Objectives and Vital Interests while Ensuring Socio-Economic Security. *Nauka i Tekhnika = Science and Technology*, 16 (6), 526–531 (in Russian). <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2017-16-6-526-531>.
7. Shestak V. P. (2016) Public-Private Partnership, “Triple Helix” and Corporative Social Responsibility. *Vestnik Finansovogo Universiteta = Bulletin of Finance University*, 20 (4), 6–16 (in Russian).
8. Kulik Yu. P., Moskovtsev V. V., Merkulova E. Yu. (2015) Social Consequences of Structural and Institutional Deformation of Russian Economic Security System. *Sotsial'no-Ekonomicheskie Yavleniya i Protsessy = Social and Economic Phenomena and Processes*, 10 (10), 76–81 (in Russian).
9. Stolypin Club (2015) Economics Growth. *Expert Online*. Available at: http://expert.ru/data/public/499741/499785/dir-polnaya-versiya-19_10_15.pdf (Accessed 16 May 2016) (in Russian).
10. Vakhtina M. A. (2016) Social Justice as a Factor of Economic Development. *Vestnik Permskogo Universiteta. Seriya: Ekonomika = Perm University Herald. Economy*, 4, 22–30 (in Russian).
11. Arkhipov A. I., Belousov A. R., Belousov R. A., Senchagov V. K. (1998) *Economic Security: Production – Finance – Banks*. Moscow, Finstatinform Publ. 621 (in Russian).
12. Yaroshevich V. I. (2015) Conceptual fundamentals of Strengthening Investment Potential of the Republic of Belarus. *Bankovskii Vestnik = Bank Bulletin Magazine*, (6), 17–21 (in Russian).
13. Markosyan A. H. (2005) To Assessment of Economic and Social Reforms in the CIS countries. *Problemy Sovremennoy Ekonomiki = Problems of Modern Economics*, (3/4), 119–126 (in Russian).
14. Vladimirov V. A., Vorob'ev Yu. L., Salov S. S. (2000) *Risk Control: Risk. Sustainable Development. Synergy*. Moscow, Nauka Publ. 429 (in Russian).
15. Gusev V. S., Kuzin B. I., Mednikov M. D., Sokolitsyn A. S., Stepashin S. V., Fedotov A. V., Shul'ts V. L. (2004) *Econom and Organization of Security in Economic Entities*. 2nd ed. Saint-Petersburg, Piter Publ. 288 (in Russian).
16. Osipov G. V. (2003) *Report at the 2nd All-Russian Congress of Sociologists, September 23–26, 2003, Moscow State University*. Available at: <http://www.ispr.ru/Confer/confer16-2.html> (Accessed 1 September 2017) (in Russian).
17. Sokolova G. N. (2010) *Economic Reality in Social Dimension: Economic Conclusions and Social Responses*. Minsk, Belaruskaya Navuka Publ. 458 (in Russian).

Поступила 04.01.2018

Подписана в печать 12.03.2018

Опубликована онлайн 27.07.2018

REFERENCES

1. Scenario Conditions, Basic Parameters for Forecasting Socio-Economic Development of the Russian Federation and Limit Levels of Prices (Tariffs) for Services of Companies in Infrastructure Sector for 2017 and Planning Period for 2018 and 2019. *Ministry of Economic Development of the Russian Federation*. Available at: <http://economy.gov.ru/minec/about/structure/depMacro/20160506> (Accessed 15 May 2016) (in Russian).
2. Shvaiba D. N. (2017) Main Criteria of Socio-Economic Security. *Nauchnye Trudy Respublikanskogo Instituta Vysheish Shkoly: Filosofsko-Gumanitarnye Nauki: Sb. Nauch. St.* [Scientific Papers of Republican Institute of Higher Education: Philosophical and Humanitarian Sciences: Collection of Scientific Papers]. Minsk, Republican Institute of Higher Education, 16, 408–414 (in Russian).

Received: 04.01.2018

Accepted: 12.03.2018

Published online: 27.07.2018

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-4-344-354>

УДК 33-338.1

Методологические подходы к исследованию понятия «конкурентоспособность»

Магистр экон. наук О. С. Близняк¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2018
Belarusian National Technical University, 2018

Реферат. Статья посвящена детальному и подробному анализу такой экономической категории, как конкурентоспособность. В начале статьи автор акцентирует внимание на множественности трактовок «конкурентоспособности» в зависимости от поставленных целей и задач, а также приводит описание экономической категории «конкурентного преимущества». Даны описание наиболее распространенных подходов к конкурентоспособности, основанное на мнении авторитетных ученых и исследователей (Я. Фаберберг, М. Франсис, М. Бест, А. Фигуэра), определение конкурентоспособности на микро-, мезо- и макроуровнях. Подробно описаны уровни конкурентных отношений, показаны взаимосвязь и взаимодействие между субъектами (участниками) конкурентных отношений в зависимости от уровня конкуренции (национальной, международной). С учетом подходов, разработанных авторитетными западными и отечественными учеными, представлена собственная классификация методологических подходов определения конкурентоспособности на основании факторов, обеспечивающих ее рост, и целей, которых она стремится достичь (ее качественных характеристик). Такая классификация включает семь групп теорий: производственные (теории производственной эффективности), институциональные, технологического (инновационного) развития (совершенствования), рыночные (маркетинговые), национального (общественного) благосостояния, управленческие и смешанные. Отдельно выделены показатели, на основании которых можно провести анализ конкурентоспособности (индекс потребительских цен, темп роста инфляции, динамика номинального курса белорусского рубля, темп роста ВВП, структура ВВП (доля секторов народного хозяйства), монетизация (соотношение М2/ВВП), доступность финансовых (кредитных) ресурсов: динамика ставки рефинансирования, ставки по кредитам (ломбардным, внутридневным, кредитный овернайт, ставки по операциям РЕПО), индекс цен производителей (темп роста цен на сырье и материалы, реальной заработной платы), уровень налоговой нагрузки предприятий промышленности и бизнеса, наличие налоговых льгот на ведение инновационного бизнеса (наличие инновационной составляющей в бизнесе)) и которыми предлагается дополнить формы статистической отчетности, в частности, отчеты о производстве промышленной продукции (работ, услуг), о ценах, текущих затратах на охрану окружающей среды, о выполнении научных исследований и разработок, по труду.

Ключевые слова: конкурентоспособность, эффективность, микроконкурентоспособность, мезоконкурентоспособность, макроконкурентоспособность, методологические подходы

Для цитирования: Близняк, О. С. Методологические подходы к исследованию понятия «конкурентоспособность» / О. С. Близняк // *Наука и техника*. 2018. Т. 17, № 4. С. 344–354. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-4-344-354>

Methodological Approaches to Study “Competitiveness” Notion

O. S. Bliznyuck¹⁾

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

Abstract: The paper is devoted to a detailed and comprehensive analysis of such economic category as competitiveness. Its beginning is focused on plurality of interpretations for a “competitiveness” term depending on goals and objectives, and it also provides a description of such economic category as “competitive advantage”. In addition the paper describes the most widespread approaches to competitiveness based on the opinion of reputable scientists and researchers (J. Faberberg, M. Francis, M. Best, A. Figuera) and it gives a definition of competitiveness at the micro-, meso- and macro levels. Detailed description of competitive relation levels, relationship and interaction between subjects (participants) of competitive relations depending on the competition level (national, international) has been given in the paper. Taking into account the approaches developed by prestigious foreign and national scientists, the author has prepared his own classification of methodological

Адрес для переписки

Близняк Ольга Сергеевна
Белорусский государственный университет
ул. К. Маркса, 31,
220030, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 328-58-98
olgabliznyuck@yandex.ru

Address for correspondence

Bliznyuck Olga S.
Belarusian State University
31 K. Marksa str.,
220030, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 328-58-98
olgabliznyuck@yandex.ru

approaches to a definition of competitiveness on the basis of factors that ensure its growth and goals which it is striving for (its qualitative characteristics). The given classification includes seven groups of theories: production theories (theories of production efficiency), institutional theories, theories of technological (innovative) development (improvement), market (marketing) theories, theories of national (social) welfare, management theories and mixed theories. In addition, some indicators have been pinpointed and these indicators make it possible to analyze competitiveness (consumer price index, growth rate of inflation, nominal exchange rate of the Belarusian ruble, GDP growth rate, GDP structure (share of national economy sectors), monetization (ratio M2/GDP), availability of financial (credit) resources: dynamics of refinancing rate, credit rates (collateral, intraday, overnight credit, rates on REPO operations), producer price index (growth rate of prices for raw materials, real wages), level of tax burden for enterprises of industry and business, availability of tax incentives for innovative business (presence of an innovative component in business)) and they are proposed to be added for the forms of statistical reports, in particular a report on production of industrial products (works, services), a report on prices, a report on current costs for environmental protection, a report on implementation of research and development, a report on labor.

Keywords: competitiveness, efficiency, micro-competitiveness, meso-competitiveness, macro-competitiveness, methodological approaches

For citation: Bliznyuck O. S. (2018) Methodological Approaches to Study "Competitiveness" Notion. *Science and Technique*. 17 (4), 344–354. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-4-344-354> (in Russian)

Введение

Достижение конкурентоспособности является первостепенной целью развития предприятия, фирмы, отрасли и экономики страны в целом. Конкурентоспособность оказывает прямое воздействие на рост продаж, которое на внутреннем рынке проявляется в развитии экономической структуры, а на внешнем – в росте экспорта продукции, что в конечном итоге способствует росту ВВП.

Чтобы повысить конкурентоспособность, необходимо поставить задачи для систематизации управления на всех уровнях. Чтобы поставить задачи, необходимо знать все аспекты, сущность конкурентоспособности и причины ее снижения, а также факторы роста.

Основная часть

Именно рыночный подход к определению конкуренции определяет появление такой категории, как конкурентоспособность [1, с. 88]. Кроме того, необходимо разграничивать понятия «конкурентоспособность» и «эффективность».

Конкурентоспособность – более емкое определение и уже включает в себя понятие эффективности, дает описание взаимосвязи экономических отношений как на микро-, так и на макроуровне. Под конкурентоспособностью часто понимаются ресурсный потенциал и возможность его грамотного использования, это, по сути, способность субъекта к конкурентной борьбе, его совокупный потенциал. В то же время с помощью эффективности принято оценивать то, насколько эффективно использованы или используются ресурсы. По сути, эффективность – это отношение затрат ресурсов (финансовых, человеческих, технологических) к совокупному результату.

Кроме того, конкурентоспособность – не абсолютная, а относительная характеристика. Конкурентоспособным может быть и малоэффективный субъект, если его конкуренты – еще менее эффективные субъекты. Следовательно, существуют различные механизмы повышения конкурентоспособности: как при помощи улучшения своих конкурентных преимуществ (например, более рациональное размещение ресурсов), так и с помощью деструктивных методов (подрыв конкурентного потенциала рыночных противников и т. д.). Однако не стоит забывать, что такое «уничтожение» конкурентов чревато наказаниями в законодательном порядке. Поэтому важно не только разрабатывать программы по совершенствованию технологий, заниматься поиском новых путей удовлетворения спроса, конкурентной разведкой и другими способами повышения эффективности, важно обеспечить должным образом бизнес, производство технологии, защиту от конкурентов. Причем это должно делаться не только на уровне фирмы, но и в рамках целых стран.

Для формирования подходов к определению конкурентоспособности необходимо разъяснить термин «конкурентное преимущество». В самом общем смысле он подразумевает активности или другие характеристики (например, для фирмы – это оборудование, позволяющее сокращать затраты, права собственности на сырье и материалы и т. д.), дающие ему преимущество над соперниками в конкуренции.

Конкурентные преимущества можно разделить на конкурентные преимущества высокого и низкого ранга (ассоциируются с доступностью источников сырья, материалов и дешевой рабочей силы). Конкурентные преимущества высокого ранга связаны (например, на

уровне предприятия) с высокой репутацией, квалифицированным персоналом, ведением долговременных НИОКР, развитым маркетингом, использованием инноваций. Как правило, преимущества этого ранга долговременны и обеспечивают более высокий уровень прибыльности предприятия, чем преимущества низкого ранга.

Обобщение результатов решения проблем конкурентоспособности, представленное в научном материале, показывает, что сущность конкурентоспособности описана в разрезе ее свойств. Однако, в качестве объекта управления категория «конкурентоспособность» изучена недостаточно. В частности, отсутствует системное представление конкурентоспособности по уровням управления экономикой. Поэтому, исходя из представленных учеными методологических подходов, можно обобщенно выделить объектные особенности конкурентоспособности, которые могут быть использованы для постановки задачи по ее повышению (табл. 1).

Уровни конкурентоспособности показаны на рис. 1.

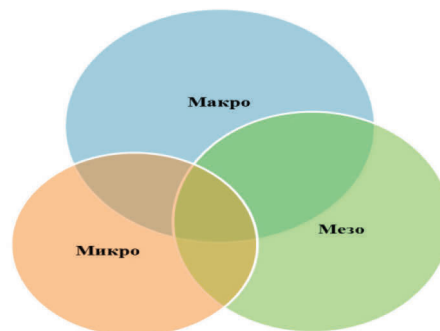


Рис. 1. Уровни конкурентоспособности (самостоятельная разработка)

Fig. 1. Competitiveness levels (self-development)

Представленное в табл. 1 содержание объектных особенностей конкурентоспособности позволяет сформулировать следующие задачи по ее повышению относительно различных уровней управления экономикой (табл. 2).

Таблица 1

Уровневая структура конкурентоспособности
Level structure of competitiveness

Вид конкурентоспособности по уровню управления экономикой	Содержание
Микроконкурентоспособность	Категория, показывающая успешность деятельности фирмы, предприятия на рынке, которая сопровождается созданием имиджа, занятием определенной рыночной ниши, наличием постоянной клиентуры (постоянного сегмента покупателей) и возможностями дальнейшего укрепления своего положения
Мезоконкурентоспособность	Способность крупных отраслевых и/или региональных промышленных комплексов выпускать пользующиеся спросом продукцию и услуги на основе рационального использования человеческих, природных и финансовых ресурсов в сочетании с инновационным подходом в управлении
Макроконкурентоспособность	Характеристика национальной производственной системы, отвечающей требованиям глобального рынка, что выражается в грамотной экономической политике и успехе страны в международной торговле, наряду с высокими показателями уровня жизни страны-производителя
Примечание. Самостоятельная разработка автора.	

Таблица 2

Описание уровней конкурентных отношений
Description of levels for competitiveness relations

Уровень конкурентных отношений	Субъект (участник) конкурентных отношений	Уровень конкуренции
Микроуровень	Виды продукции, фирма (компания); производственные отрасли, предприятия	Национальная, международная
Мезоуровень	Корпоративные ассоциации, фирмы-конгломерации, регионы	Национальная, международная
Макроуровень	Национальные экономические комплексы (страны)	Международная
Примечание. Самостоятельная разработка автора на основании [2].		

Во-первых, задачей макроуровня является соответствие экономики требованиям глобального рынка.

Во-вторых, задача для мезоуровня определяется как выпуск отраслевыми комплексами и крупными промышленными предприятиями конкурентоспособной продукции.

В-третьих, цель микроуровня – создание имиджа, занятие определенной рыночной ниши, создание «списка» постоянной клиентуры (постоянного сегмента покупателей) и дальнейшее укрепление своего положения на рынке.

Для того чтобы обеспечить решение поставленных задач, важно понимать, как увязаны характеристики и уровни конкурентоспособности в механизме функционирования экономики.

В начале методологического исследования взаимодействий конкурентоспособности и экономических процессов целесообразно использовать разработки таких авторов, как Фабер-

берг, Лолл, Франсис, Кантвелл и других, которые представлены в табл. 3. Таким образом, анализируя основные концепции и подходы к природе конкурентоспособности, можно привести мнения авторитетных западных и отечественных ученых, наиболее полно описывающих природу и свойства конкурентоспособности как на микро-, так и на макроуровнях (табл. 3).

Табл. 3 наглядно демонстрирует множественность трактовок конкурентоспособности национальной экономики в зависимости от субъектов (участников) конкурентных отношений и уровней конкуренции, а также факторов, взятых за основу конкурентного преимущества (табл. 2).

Анализ зарубежных и отечественных теоретических материалов по конкурентоспособности позволяет сделать вывод о многогранности этой категории и необходимости ее дальнейшего изучения.

Таблица 3

Основные подходы к пониманию природы конкурентоспособности национальной экономики

Main approaches to understanding nature of competitiveness in national economy

Автор	Определение конкурентоспособности
Я. Фаберберг (1988)	Национальная конкурентоспособность определяется как способность страны достичь определенных политических целей, таких как рост дохода и занятости, не углубляясь в проблемы платежного баланса
С. Лолл (2001)	Конкурентоспособность национальной экономики основывается на отдельных секторах экономики, а не на эффективности всей экономики в целом; синергетический эффект игнорируется
М. Франсис (1989)	Предприятие считается конкурентоспособным, если оно может выпускать продукцию или услуги лучшего качества или с издержками, ниже, чем у отечественных и зарубежных конкурентов. В долгосрочной перспективе конкурентоспособность является синонимом прибыльности и способности компенсировать сотрудникам заработную плату и обеспечить высочайшие доходы своим владельцам
М. Кантвелл (2005)	Конкурентоспособность понимается как потенциал, необходимый для устойчивого экономического роста в международной конкурентной среде, в которой существуют и фирмы, и промышленные комплексы или кластеры, и даже целые страны, и у которых имеются эквивалентные, но различающиеся возможности для собственного потенциала конкурентоспособности
М. Бест	Ключевым фактором конкурентоспособности является не интенсивность использования ресурсов, а их рациональное применение. Большое значение имеет способность быстро адаптироваться к абсолютно разным методам развития, производства, маркетинговым решениям и т. д.
А. Г. Гранберг	Основой конкурентоспособности социально-экономических систем являются следующие факторы: человеческий, технологический, институциональный, организационный, информационный, а также использование натуральных ресурсов
П. Пеура (1979)	Конкурентоспособность страны зависит от конкурентоспособности предприятий и их продукции. Показателями конкурентоспособности являются отношение доли экспорта к ВВП и отношение сальдо внешней торговли к ВВП
А. Фигуэра (1998)	Конкурентоспособность страны определяется как ее способность занять и удержать определенную долю на зарубежных рынках
Ж. Коскивара, Ж. Пили-Шилова (1989)	Конкурентоспособность страны напрямую зависит от роста валового выпуска продукции и впоследствии опирается только на увеличение экспорта этой продукции
Ж. Маркусен (1992)	Национальная конкурентоспособность является относительным показателем, свидетельствующим о состоянии торговли страны на мировом рынке в сравнении с другими государствами

Автор	Определение конкурентоспособности
Т. Клеметти (1989)	Конкурентоспособность страны можно определить как способность конкурировать на экспортных рынках для поддержания экономического роста и занятости
Т. Штраубхар (1994)	Оценка национальной конкурентоспособности возможна на основании подхода, определяющего национальную экономику как сложный конгломерат микроэкономических решений, мезоэкономических структур и политико-экономических интересов. На микроуровне конкурентоспособность обеспечивается за счет возможности (способности) развития предприятий, которое может поддерживаться государственными программами. Конкурентоспособность на макроуровне трактуется как привлекательность страны в качестве места для ведения бизнеса
Е. Фидель (2005)	Национальная конкурентоспособность представлена на двух уровнях: микро и макро. Микропараметры формируют конкурентоспособность фирмы или отрасли, в то время как макропараметры определяют конкурентоспособность на национальном уровне. Глобальная конкурентоспособность может быть определена в терминах технологии и масштаба: страна является конкурентоспособной, если у ее отраслей средний уровень совокупной производительности факторов производства больше или равен уровню иностранных конкурентов. Этот аспект конкурентоспособности может быть также представлен в плане затрат: страна конкурентоспособна, если средний уровень затрат ее отраслей на единицу продукции (средние издержки производства) ниже или равен аналогичным затратам конкурентов
М. Дьюрэнд (1998)	Основой конкурентоспособности являются неценовые факторы, такие как технологические инновации и качество, но они трудно поддаются анализу из-за трудности измерения и количественного сравнения
Х. Трабольд (1995)	Национальная конкурентоспособность базируется на двух факторах: умение продавать или возможность экспортировать (продавать) и способность привлекать, т. е. на способности страны быть привлекательной для прямых иностранных инвестиций
Р. Виплисаукас (2004)	Национальная конкурентоспособность также должна рассматриваться в аспекте международной торговли, т. е. при определенных условиях имеет смысл говорить о конкуренции между государствами. Страны конкурируют, но не только в международной торговле, но и в привлечении капитала. Иными словами, они конкурируют, устанавливая условия экономической среды (например, налоги и экономическое положение), которые могут привлечь иностранные инвестиции
И. Гоф (1995)	Конкурентоспособность должна рассматриваться в двух аспектах: следует различать видимую, исполняемую (подразумевающую способность компании продавать на международных рынках) и лежащую в ее основе структурную конкурентоспособность (способность страны обеспечить высокие и растущие доходы своего народа, в то время как ее предприятия остаются беззащитными от воздействия иностранной конкуренции)
Т. Невенс, Н. Самм	Главными факторами, определяющими конкурентоспособность, являются организационные (в том числе управленческие) и технологические, а также такие характеристики человеческих ресурсов, как умения и навыки, квалификация, мотивация работников. Совокупность данных факторов определяют жизнестойкость и адаптивность субъекта предпринимательства в конкурентных условиях, а показатели прибыли, по сути, являются конечной целью выживания в конкурентных условиях
Л. Хопкинс	Конкурентоспособность определяется как «непрерывный процесс инновации, совершенствование и повышение прибавочной стоимости и производительности»
Р. Фатхутдинов	Конкурентоспособность рассматривается как относительная категория, поскольку, считается, что конкурентный товар обладает лучшими свойствами относительно товаров-субститутов или товаров-заменителей
Н. А. Рудницкая	Под конкурентоспособностью понимается свойство продукции полностью или частично отвечать требованиям рынка
Л. К. Гурева	Конкурентоспособность напрямую связана с инновационным развитием. Основой конкурентоспособности региона являются новые факторы и условия. Конкурентоспособность – интегральный показатель, сформированный сочетанием качественно новых факторов и условий, которые необходимы региону для того, чтобы перейти на новый уровень социально-экономического и социально-технологического развития
А. И. Гаврилов	Конкурентоспособность региона напрямую связана с факторами социально-экономического развития региона, которые делятся на две категории: факторы прямого воздействия (человеческие ресурсы, использование натуральных ресурсов, внешние связи) и факторы косвенного влияния (общие экономические, политические)

Автор	Определение конкурентоспособности
И. Ереско	Конкурентоспособность региона – способность выявлять, создавать и использовать на региональном уровне конкурентные преимущества низкого и высокого рангов с целью повышения своей конкурентной позиции на региональном конкурентном уровне
С. Хаминич	Конкурентоспособность предприятия представляется как его своеобразная комплексная характеристика, которая показывает, насколько экономически грамотно и эффективно предприятие использует собственные и заемные ресурсы для развития и усиления своих рыночных позиций. Для оценки конкурентоспособности применяется целая система показателей; именно данная система и ее комплексный эффект позволяют грамотно оценивать, насколько конкурентоспособно предприятие по сравнению с конкурентами на определенном временном интервале
Примечание. Самостоятельная разработка автора на основании [3, с. 1–4; 4, с. 5; 5; 6, с. 46–49; 7, с. 45–46; 8, с. 4; 5, с. 126–129; 9, с. 2–3; 10, с. 45–47; 11; 12; 10, с. 10–12].	

Анализ зарубежных и отечественных теоретических материалов по конкурентоспособности позволяет сделать вывод о многогранности этой категории и необходимости ее дальнейшего изучения.

Содержание табл. 3 выделяет факторы роста конкурентоспособности. Таким образом, авто-

ром разработана и предложена собственная классификация методологических подходов определения конкурентоспособности на основании факторов, обеспечивающих ее рост, и целей, которых она стремится достичь (ее качественных характеристик) (рис. 2).

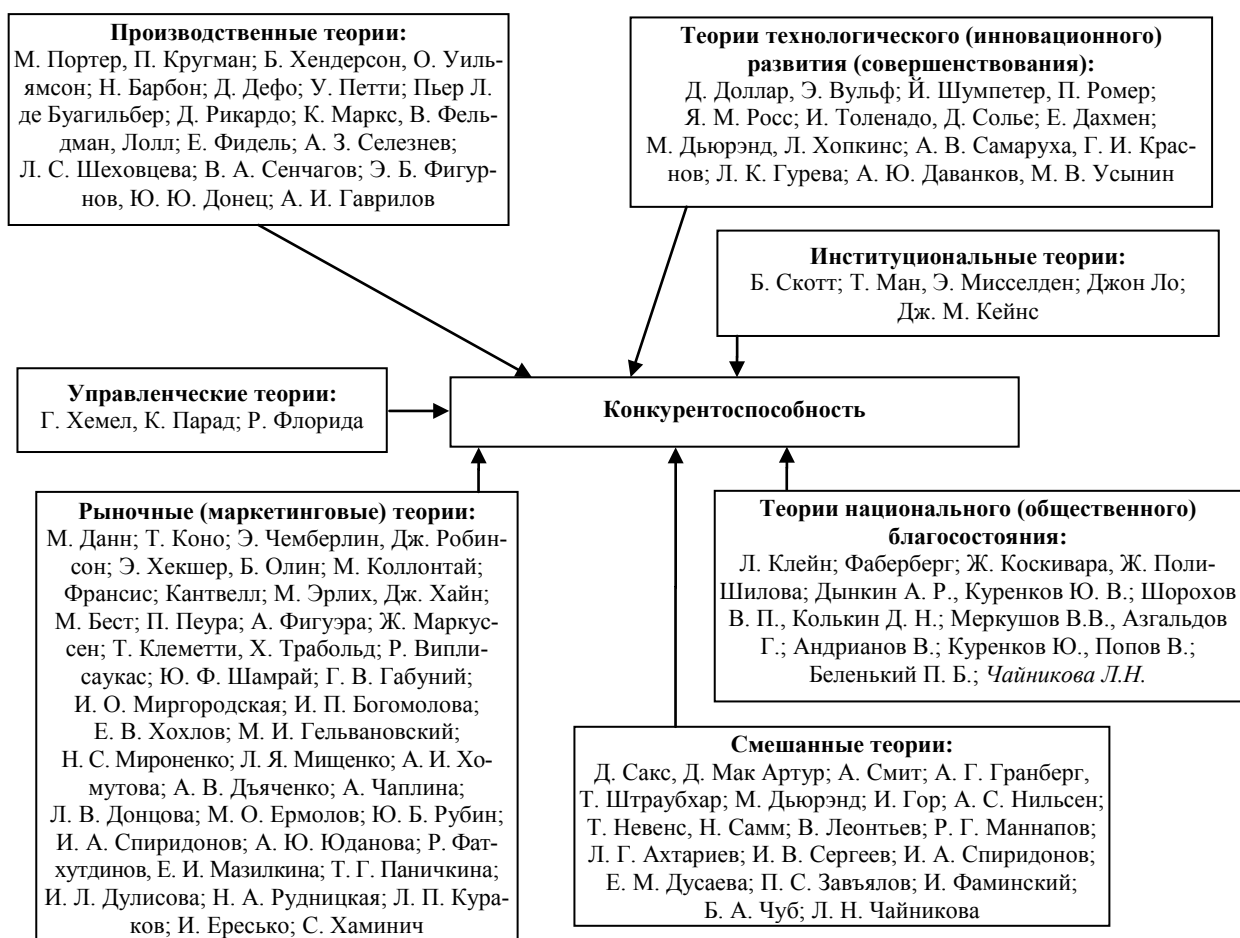


Рис. 2. Классификация методологических подходов к анализу конкурентоспособности

Fig. 2. Classification of methodological approaches to competitiveness analysis

Классификация включает семь групп: производственные теории (теории производственной эффективности), институциональные теории, теории технологического (инновационного) развития (совершенствования), рыночные (маркетинговые) теории, теории национального (общественного) благосостояния, управленческие теории и смешанные теории.

Производственные теории (теории производственной эффективности) рассматривают конкурентоспособность как категорию, напрямую зависящую от географического положения страны, т. е. от наличия в ней природных ресурсов, и эффективности использования таких факторов производства, как труд и капитал, а также от хорошо отлаженной системы производственных связей.

Институциональные теории утверждают, что в основе конкурентоспособности лежат взаимосвязь и взаимодействие государственных и частных институтов, которые способствуют развитию конкурентных отношений.

Группа теорий технологического (инновационного) развития (совершенствования) объединяет подходы, в рамках которых первостепенное влияние на развитие конкурентоспособности оказывают инновационная составляющая и научный потенциал предприятия, промышленного комплекса или экономики в целом.

Рыночные (маркетинговые) теории оценивают конкурентоспособность как показатель успешности деятельности, пребывания производственной единицы на рынке, используя такие параметры, как доля рынка, объемы реализации (продаж), доля экспортной продукции на зарубежных рынках и т. д. С точки зрения мар-

кетинговых теорий, под конкурентоспособностью в первую очередь следует понимать гибкость национальной экономики и ее способность отвечать требованиям рынка на основе потенциала экономики и ее возможностей. Немаловажное значение имеют успехи страны в международной торговле и ее место среди крупнейших стран-экспортеров.

Теории национального (общественного) благосостояния рассматривают конкурентоспособность как качественную характеристику, определяющую всестороннее развитие общества и государства, которое проявляется в наличии устойчивых темпов экономического роста, повышении уровня жизни населения и т. д.

Управленческие теории считают, что главным фактором конкурентоспособности являются знания, навыки и потенциал управленческого персонала (управленцев), а также его способность к нестандартному (креативному) мышлению. Именно личностные характеристики персонала задают основные направления развития национального производства и служат залогом успеха деятельности.

Смешанные теории сочетают факторы развития и достижения конкурентоспособности производственных, институциональных, рыночных, управленческих теорий и теорий национального благосостояния.

В итоге, заданная классификация дает подробнее описание различий в подходах к изучению конкурентоспособности, и, следовательно, указывает на основные факторы ее развития на микро-, мезо-, макро- и мегауровнях (рис. 3, табл. 4).

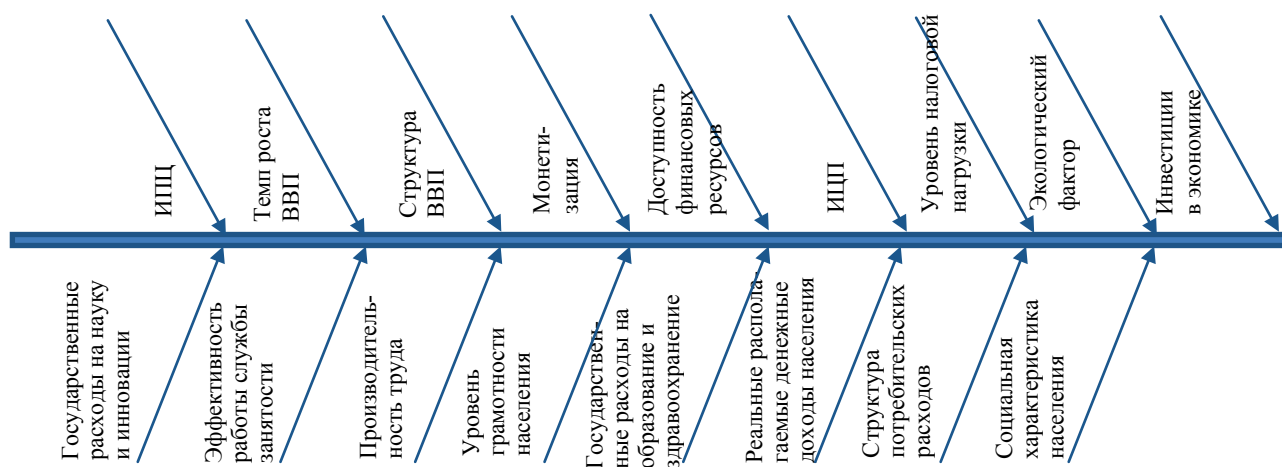


Рис. 3. Факторы конкурентоспособности (самостоятельная разработка)

Fig. 3. Competitiveness factors (self-development)

Таблица 4

Факторы конкурентоспособности экономики

Competitiveness factors in economy

Фактор конкурентоспособности	Теоретическое обоснование
Индекс потребительских цен, темп роста инфляции, динамика номинального курса белорусского рубля	Дает подробное описание инфляционных процессов, представление об инфляционных ожиданиях
Темп роста ВВП (количественный показатель ВВП)	Основной показатель развития экономики государства
Структура ВВП (доля секторов народного хозяйства) – качественный показатель ВВП	Представление о качественных отраслевых пропорциях в экономике; сравнение показателей роста инвестиций, вкладываемых в экономику, и показателей ВВП дает адекватную оценку качественного роста ВВП
Монетизация (соотношение М2/ВВП)	Характеризует обеспеченность экономики финансовыми ресурсами (минимальный норматив составляет 30 %)
Доступность финансовых (кредитных) ресурсов: динамика ставки рефинансирования, ставки по кредитам (ломбардным, внутридневным, кредитный овернайт, ставки по операциям РЕПО)	С помощью процедуры рефинансирования Центральный Банк регулирует показатели ликвидности всего банковского сектора Республики Беларусь, что в итоге оказывает стимулирующее воздействие на деловую активность в экономике страны в целом; позволяет определить кредитную активность банков в стране в объеме привлеченных рефинансированных кредитов
Индекс цен производителей (темп роста цен на сырье и материалы, реальной заработной платы)	Показатели доступности ресурсов для производителей позволяют сделать предварительную стоимостную оценку затрат на производство продукции
Уровень налоговой нагрузки предприятий промышленности и бизнеса, наличие налоговых льгот на ведение инновационного бизнеса (наличие инновационной составляющей в бизнесе)	Предопределяет интерес бизнес-кругов к развитию предпринимательства в республике, внедрению инновационных способов производства; показывает степень поддержки государством бизнеса
Учет экологического фактора – ставка экологического налога, уровень экологического менеджмента	Характеризует динамику снижения издержек в результате экономии природных ресурсов и динамику темпа роста доходов за счет «зеленых» товаров и появления новых рынков сбыта
Темп роста инвестиций в экономику, основной капитал	Является одним из самых главных факторов достижения конкурентоспособности при условии, что финансовые ресурсы не направляются на псевдоинвестиции, т. е. на частичное улучшение устаревших поколений техники, а на крупномасштабное освоение поколений так называемого шестого технологического уклада (ядро которого составляют нанотехнологии и наноизобретения), формирование абсолютно новых или новейших технологических кластеров и систем, ориентированных в первую очередь на отечественные изобретения
Темп роста государственных расходов на науку и инновационную деятельность	Определяет направления государственной поддержки научных исследований для развития отраслей промышленности
Темп роста численности трудоспособного населения или эффективность работы службы занятости	Характеризует динамику спроса и предложения на рынке труда
Производительность труда	Повышение производительности труда обуславливает сокращение затрат труда на единицу продукции, способствует повышению качества продукции и рентабельности производства
Уровень грамотности населения (структура населения по уровню образованности, т. е. соотношение людей со средним, высшим и базовым образованием; темп роста людей с высшим образованием)	Дает представление о кадровом потенциале экономики, ее возможностях внедрять и управлять технологическими новшествами, способности к освоению нанотехнологий, которые приносят тем больший эффект, чем большую сферу экономики охватывают
Темп роста государственных расходов на образование и здравоохранение	Способствует формированию качественного человеческого капитала; стабильная поддержка образования и здравоохранения позволяют бороться с двумя основными проблемами трудовых ресурсов: старением населения и снижением рождаемости.

Фактор конкурентоспособности	Теоретическое обоснование
Динамика реальных располагаемых денежных доходов населения (темпы роста), динамика индекса Джинни	Показывают покупательскую способность населения
Структура потребительских расходов населения	Формирует потребительский спрос, показывает предпочтения, вкусы, привычки потребителей
Социальная характеристика населения (динамика естественного прироста населения, средняя продолжительность жизни населения среди населения разных возрастных групп и т. д.)	Позволяет оценить качественный состав потенциальных потребителей и трудоспособного населения экономики
Примечание. Самостоятельная разработка автора на основании [13–24].	

В частности, автор предлагает дополнить формы статистической отчетности следующими показателями.

1. В отчет о производстве промышленной продукции (работ, услуг) включить темпы роста ВВП (количественный показатель ВВП), показатель структуры ВВП или долю секторов народного хозяйства (качественный показатель ВВП). Рекомендуется использовать в отчете показатели, напрямую оказывающие влияние на формирование потребительского спроса на продукцию, т. е. динамику темпа роста реальных располагаемых денежных доходов населения, динамику индекса Джинни, динамику структуры потребительских расходов населения, а также показатели социальной характеристики населения, т. е. динамику естественного прироста населения, среднюю продолжительность жизни населения среди населения разных возрастных групп и т. д. Кроме вышеперечисленных показателей, в отчете желательно отслеживать монетизацию (соотношение М2/ВВП), которая характеризует обеспеченность экономики финансовыми ресурсами, доступность финансовых (кредитных) ресурсов: динамику ставки рефинансирования, ставки по кредитам (ломбардным, внутридневным, кредитный овернайт, ставки по операциям РЕПО) и уровень налоговой нагрузки предприятий промышленности и бизнеса, наличие налоговых льгот на ведение инновационного бизнеса (наличие инновационной составляющей в бизнесе).

2. В отчет о ценах следует включить индекс потребительских цен, темпы роста инфляции, динамику номинального курса белорусского

рубля, темпы роста цен на сырье и материалы и реальной заработной платы.

3. В отчет о текущих затратах на охрану окружающей среды добавить динамику ставки экологического налога и динамику снижения издержек в результате экономии природных ресурсов, динамику темпа роста доходов за счет «зеленых» товаров и появления новых рынков сбыта.

4. Следует дополнить отчет о выполнении научных исследований и разработок динамикой темпа роста государственных расходов на науку и инновационную деятельность, а также показателями темпов роста государственных расходов на образование и здравоохранение, поскольку они оказывают непосредственное влияние на формирование и сохранение качественного человеческого капитала. Кроме того, необходимо добавить показатели, характеризующие уровень грамотности населения, т. е. динамику темпа роста людей с высшим образованием, процентное соотношение (структуру) населения со средним, высшим, базовым образованием.

5. В отчет по труду рекомендуется вставить динамику численности трудоспособного населения, которая характеризует эффективность работы службы занятости, динамику темпа роста производительности труда (рис. 3, табл. 4).

Информационной базой, используемой для систематизации управления процессами достижения и повышения конкурентоспособности, являются статистические данные, которые представлены в структурных массивах. Они формируются на основании утвержденной Национальным статистическим комитетом Республики Беларусь отчетности.

ВЫВОД

Разработана и сформулирована основная концепция категории «конкурентоспособность» на всех уровнях управления, даны определения микро-, мезо- и макроконкурентоспособности, составлена классификация методологических подходов к анализу конкурентоспособности (производственные теории (теории производственной эффективности), институциональные теории, теории технологического (инновационного) развития (совершенствования), рыночные (маркетинговые) теории, теории национального (общественного) благосостояния, управленческие и смешанные теории) и выделены факторы конкурентоспособности экономики (индекс потребительских цен, темп роста инфляции, динамика номинального курса белорусского рубля, темп роста ВВП, структура ВВП (доля секторов народного хозяйства), монетизация (соотношение M2/ВВП) и др.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Назаров, А. М. Конкурентоспособность национальной экономики: трансформация понятия и инструменты государственного регулирования / А. М. Назаров // Известия Санкт-Петербургского университета экономики и финансов. 2008. Т. 54, № 2. С. 87–89.
2. Мигранян, А. А. Конкурентоспособность и структурная перестройка экономической системы государства в условиях трансформации экономики [Электронный ресурс] / А. А. Мигранян. Режим доступа: <http://grouper.global.org/ru/node/67035>. Дата доступа: 21.11.2014.
3. Пылин, А. Г. Конкурентоспособность экономик стран СНГ на мировом фоне [Электронный ресурс] / А. Г. Пылин // Вестник научной информации. 2008. № 2. Режим доступа: <http://docplayer.ru/32059252-Konkurento-sposobnost-ekonomik-stran-sng-na-mirovom-fone.html>. Дата доступа: 27.02.2014.
4. Моисеева, И. В. Теоретические подходы к изучению конкурентоспособности вуза [Электронный ресурс] / И. В. Моисеева. Режим доступа: <http://sisupr.mrsu.ru/2008-1/pdf/19-moiseeva.pdf>. Дата доступа: 27.02.2014.
5. Гоголева, Т. Н. / Конкурентоспособность страны: сущность и проблемы регулирования / Т. Н. Гоголева // Вестник ВГУ. Экономика и управление. 2003. № 1. С. 4–9.
6. Сорокина, Г. П. Нематериальные составляющие конкурентоспособности / Г. П. Сорокина, А. В. Захаров, А. В. Боронников. М.: МГТУ «МАМИ», 2011. 322 с.
7. Гельвановский, М. И. / Методологические подходы к обеспечению конкурентоспособности международных интеграционных группировок в условиях глобализации / М. И. Гельвановский // Евразийская экономическая интеграция. 2012. Т. 14, № 1. С. 44–58.
8. Зеленкевич, М. И. Теория конкурентоспособности национальной экономики как основа развития мировой торговли [Электронный ресурс] / М. И. Зеленкевич. Режим доступа: <http://www.e-edu.by/main/departments/finance/staff/zelenkevich/publications/10.pdf>. Дата доступа: 27.02.2014.
9. Данилов, И. А. Ретроспективный анализ трактования терминов «конкурентоспособность» и «конкурентное преимущество» отечественными и зарубежными авторами / И. А. Данилов, Е. В. Волкова // Вестник Челябинского государственного университета. 2010. Вып. 24, № 3. С. 126–133.
10. Шуль, М. Ю. Научные представления о сущности конкурентоспособности национальной экономики [Электронный ресурс] / М. Ю. Шуль // Теория и практика общественного развития. 2012. № 8. Режим доступа: http://teoria-practica.ru/rus/files/arhiv_zhurnala/2012/8/ekonomika/shul.pdf. Дата доступа: 27.02.2014.
11. Шафранская, И. Н. Конкурентоспособность российских регионов через призму креативности, или еще об одном рейтинге регионов / И. Н. Шафранская // Конкурентоспособный регион: концепции и факторы: сб. ст. Пермь, 2012. С. 56–72.
12. Белых, О. В. Понятие конкурентоспособности и его эволюция / О. В. Белых // Молодой ученый. 2011. № 6. С. 145–147.
13. Теоретико-методологические аспекты достижения инновационной конкурентоспособности на национальном уровне [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ru.yacontent.com/w/%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%BE...%B5>. Дата доступа: 23.12.2014.
14. Показатели эффективности функционирования рынка труда [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://econo.minfo.ru/view-article.php?id=130>. Дата доступа: 23.12.2014.
15. Логунов, В. Н. Государственное регулирование рынка труда [Электронный ресурс] / В. Н. Логунов. 2009. Режим доступа: <http://www.lerc.ru/?part=articles&art=15&page=5>. Дата доступа: 23.12.2014.
16. Производительность труда. Определение производительности труда, показатели производительности труда, эффективность труда [Электронный ресурс] // Энциклопедия инвестора. Режим доступа: <https://investments.academic.ru/1315/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B8%D0%B7%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C%D1%82%D1%80%D1%83%D0%B4%D0%B0>. Дата доступа: 09.02.2015.
17. Отставнова, Л. А. Факторы формирования внутрифирменного рынка труда [Электронный ресурс] / Л. А. Отставнова. Режим доступа: http://www.rusnauka.com/25_NNP_2011/Economics/5_91925.doc.htm. Дата доступа: 09.02.2015.
18. Влияние факторов научно-технологического развития на перспективы социально-экономического развития и конкурентоспособности России [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.pandia.ru/text/77/202/65159.php>. Дата доступа: 16.02.2015.
19. Arzu Inal, G. A Study into Competitiveness Indicators [Electronic Resource] / G. Arzu Inal. 2003, November 9–10. Access mode: http://ref.sabanciuniv.edu/sites/ref.sabanciuniv.edu/files/inal_makale.pdf. Date of access: 16.02.2015.
20. Fernando, J. D. L. Defining Firm's Competitive Sustainability: from Fuzzy Conceptions to a Primer Definition and a Research Agenda / J. D. L. Fernando, B. Felix // Paper for the "16th Annual International Sustainable Development Research Conference", 2010. P. 4–5.
21. Колесов, П. Ф. Основные факторы, влияющие на конкурентоспособность банков [Электронный ресурс] / П. Ф. Колесов // Современные научные исследования и инновации. 2012. № 11. Режим доступа: <http://web.snauka.ru/issues/2012/11/18351>. Дата доступа: 16.02.2015.

22. Technology and Economy. The Key Relations / Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). Paris: OECD, 1992.
23. Zander, E. V. Competitiveness-Assessment-Based Monitoring of Socioeconomic Systems / E. V. Zander, E. V. Inyukhina // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Гуманитарные науки. 2010. Т. 3, № 4. С. 546–553.
24. Čibinskienė, A. Relation of Infrastructure Natural Monopolies and National Competitiveness / A. Čibinskienė. *Ekonomika ir Vadyba-Economics & Management*. 2010. No 15. P. 62–67.

Поступила 05.03.2018
Подписана в печать 11.05.2018
Опубликована онлайн 27.07.2018

REFERENCES

1. Nazarov A. M. (2008) The Competitive Strength of National Economics: the Transformation of the Concept and the Implements for State Regulation. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo Universiteta Ekonomiki i Finansov* [Proceedings of Saint-Petersburg University of Economics and Finance], 54 (2), 87–89 (in Russian).
2. Migranian A. A. (2017) *Competitiveness and Structural Reconstruct Economic System of the State in Conditions of Transformation of Economy*. Available at: <http://group-global.org/ru/node/67035> (Accessed 21 November 2014) (in Russian).
3. Pylin A. G. (2008) Compatibility of Economic Systems in CIS Countries against World Background. *Vestnik Nauchnoi Informatsii = Bulletin of Scientific Information*, (2). Available at: <http://docplayer.ru/32059252-Konkurento-sposobnost-ekonomik-stran-sng-na-mirovom-fone.html> (Accessed 27 February 2014) (in Russian).
4. Moiseeva I. V. *Theoretical Approaches to Study HEI [Higher Education Institution] Compatibility*. Available at: <http://sisupr.mrsu.ru/2008-1/pdf/19-moiseeva.pdf>. (Accessed 27 February 2014) (in Russian).
5. Gogoleva T. N. (2003) Country Compatibility: Essence and Problems of Regulation. *Vestnik Voronezhskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Ekonomika i Upravlenie = Proceedings of Voronezh State University. Series: Economics and Management*, (1), 4–9 (in Russian).
6. Sorokina G. P., Zakharov A. V., Boronnikov A. V. (2011) *Non-Material Components of Compatibility*. Moscow, Moscow State University of Mechanical Engineering. 322 (in Russian).
7. Gelvanovsky M. I. (2012) Methodological Approaches to Provision of Compatibility in International Integration Groups Under Conditions of Globalization. *Evrasiiskaya Ekonomicheskaya Integratsiya = Journal of Eurasian Economic Integration*, 14 (1), 44–58 (in Russian).
8. Zelenkevich M. I. *Theory of National Economy Compatibility as a Basis for Development of World Trade*. Available at: <http://www.e-edu.by/main/departments/finance/staff/zelenkevich/publications/10.pdf> (Accessed 27 February 2014) (in Russian).
9. Danilov I. A., Volkova E. V. (2010) Retrospective Analysis for Understanding the Terms “Compatibility” and “Competitive Advantage” by National and Foreign Specialists. *Vestnik Chelyabinskogo Gosudarstvennogo Universiteta = CSU Bulletin*, 24 (3), 126–133 (in Russian).
10. Shul M. Yu. (2012) Scientific Belief on Essence of National Economy Compatibility. *Teoriya i Praktika Obshchestvennogo Razvitiya = Theory and Practice of Social Development*, (8). Available at: http://teoria-practica.ru/rus/files/arhiv_zhurnala/2012/8/ekonomika/shul.pdf (Accessed 27 February 2014) (in Russian).
11. Shafranskaya I. N. (2012) Compatibility of Russian Regions Through the Prism of Creativity or About Another Regional Ranking. *Konkurentosposobnyi Region: Kontseptsii i Faktory. Sb. St. [Competitive Region: Concepts and Factors: Collection of Articles]*. Permian, 56–72 (in Russian).
12. Belykh O. V. (2011) Compatibility Concept and its Evolution. *Molodoy Uchiony [Young Scientist]*, (6), 145–147 (in Russian).
13. *Theoretical and Methodological Aspects for Reaching Innovation Compatibility at the National Level*. Available at: <http://ru.yacontent.com/w/%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%BE...%B5> (Accessed 23 December 2014) (in Russian).
14. *Efficiency Indicators of Labor-Market Performance*. Available at: <http://economyinfo.ru/view-article.php?id=130> (Accessed 23 December 2014) (in Russian).
15. Logunov V. N. (2009) *Governmental Regulation of Labor Market*. Available at: <http://www.lerc.ru/books/articles/0015/0005/> (Accessed 23 December 2014) (in Russian).
16. Labor productivity / Determination of Labor Productivity, Indicators of Labor Productivity, Labor Efficiency. *Encyclopedia of Investor*. Available at: <https://investments.academic.ru/1315/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B8%D0%B7%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C%D1%82%D1%80%D1%83%D0%B4%D0%B0> (Accessed 9 February 2015) (in Russian).
17. Otstavnova L. A. (2011) *Factors for Formation of Intercompany Labor Market*. Available at: http://www.rusnauka.com/25_NNP_2011/Economics/5_91925.doc.htm (Accessed 9 February 2015) (in Russian).
18. *Influence of Factors for Scientific and Technological Progress on Prospects of Socio-Economic Development and Compatibility in Russia*. Available at: <http://www.pandia.ru/text/77/202/65159.php> (Accessed 16 February 2015) (in Russian).
19. Arzu Inal G. (2003) *A Study into Competitiveness Indicators*. Available at: http://ref.sabanciuniv.edu/sites/ref.sabanciuniv.edu/files/inal_makale.pdf (Accessed 16 February 2015).
20. Fernando J. D. L., Felix B. (2010) Defining Firm’s Competitive Sustainability: from Fuzzy Conceptions to a Primer Definition and a Research Agenda. *Paper for the “16th Annual International Sustainable Development Research Conference”*, 4–5.
21. Kolesov P. F. (2012) Main Factors Which Influence Banking Ability to Compete. *Sovremennye Nauchnye Issledovaniya i Innovatsii = Modern Scientific Researches and Innovations*. Available at: <http://web.snauka.ru/issues/2012/11/18351> (Accessed 16 February 2015) (in Russian).
22. Organisation for Economic Co-Operation and Development (OECD) (1992) *Technology and Economy. The Key Relations*. Paris: OECD.
23. Zander E. V., Inyukhina E. V. (2010) Competitiveness-Assessment-Based Monitoring of Socioeconomic Systems. *Zhurnal Sibirskogo Federal'nogo Universiteta. Seriya: Gumanitarnye Nauki = Journal of Siberian Federal University. Humanities & Social Sciences*, 3 (4), 546–553.
24. Čibinskienė A. (2010) Relation of Infrastructure Natural Monopolies and National Competitiveness. *Ekonomika ir Vadyba-Economics & Management*, (15), 62–67.

Received: 05.03.2018

Accepted: 11.05.2018

Published online: 27.07.2018