

НАУКА и ТЕХНИКА



Science and Technique V. 16, No 6 (2017)

**Международный
научно-технический журнал**

**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

Published from January 2002

Периодичность издания – один раз в два месяца

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

CONTENTS

Строительство

Civil and Industrial Engineering

- Khroustalev B. M., Leonovich S. N.,
Potapov V. V., Grushevskaya E. N.**
Composite Materials Based on Cement Binders
Modified with SiO₂ Nanoadditives
(Хрусталеv Б. М., Леонович С. Н.,
Потапов В. В., Грушевская Е. Н.)
Композиционные материалы на основе
цементных вяжущих, модифицированных
нанодобавками SiO₂) 459
- Грахов В. П., Кислякова Ю. Г.,
Симакова У. Ф., Мушаков Д. А.**
Развитие системы контроля за ходом
строительно-монтажных работ на основе
комплексного применения программных
продуктов Primavera P6 Professional R8.3.2
и ArchiCAD 17.0.0 466
- Gasii G. M.**
Structural and Design Specifics
of Space Grid Systems
(Гасий Г. М. Особенности конструктивных
решений и проектирования пространственных
стержневых систем) 475

- Khroustalev B. M., Leonovich S. N.,
Potapov V. V., Grushevskaya E. N.**
Composite Materials Based on Cement Binders
Modified with SiO₂ Nanoadditives 459
- Grakhov V. P., Kislyakova Yu. G.,
Simakova U. F., Mushakov D. A.**
Development of Control System for the Progress
of Construction and Installation Works Based
on Integrated Application
of Primavera P6 Professional R8.3.2
and ArchiCAD 17.0.0 Software Products. 466
- Gasii G. M.**
Structural and Design Specifics
of Space Grid Systems 475

| | |
|---|-----|
| Гречухин В. А., Лосев А. Ю. Исследование процесса надвигки сталежелезобетонного пролетного строения больших мостов | 485 |
| Солодка М. Г. Определение наиболее значимых факторов при анализе эксплуатационного состояния автомобильных дорог | 493 |
| Каширипор М. М. Пути совершенствования нормативно-правовой базы градостроительного проектирования в Иране и ее соответствие концепции устойчивого развития | 498 |

Экономика промышленности

| | |
|---|-----|
| Божанов П. В. Логистическая деятельность в Беларуси: тенденции и проблемы | 506 |
| Кажуро Н. Я. Экономический рост на основе инновационного развития – основа макроэкономической стабилизации и устойчивости национальной экономики | 515 |
| Швайба Д. Н. Проблемы согласования целей и жизненных интересов при обеспечении социально-экономической безопасности | 526 |
| Мирецкий И. Ю., Попов П. В., Ивуть Р. Б. К проблеме оптимизации региональной складской и автотранспортной инфраструктуры | 532 |
| Царенкова И. М. Оптимизация поставок материальных ресурсов в логистической системе строительства автомобильных дорог | 537 |

**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),

| | |
|--|-----|
| Grechukhin V. A., Losev A. Yu. Investigation of Launching Process for Steel Reinforced Concrete Framework of Large Bridges | 485 |
| Solodkaya M. G. Determination of Most Significant Factors for Analysis of Highway Operating Conditions | 493 |
| Kashiripoor M. M. Ways to Improve Normative and Regulatory Framework for Urban Planning in Iran and its Compliance with Sustainable Development Concept | 498 |

Economy in Industry

| | |
|--|-----|
| Bozhanov P. V. Logistics Activities in Belarus: Tendencies and Problems. | 506 |
| Kazhuro N. Ya. Economic Growth Based on Innovative Development – Foundation of Macroeconomic Stabilization and Sustainability of National Economy | 515 |
| Shvayba D. N. Problems in Harmonization of Goals and Vital Interests while Ensuring Socio-Economic Security | 526 |
| Miretskiy I. Yu., Popov P. V., Ivut R. B. On Problem of Regional Warehouse and Transport Infrastructure Optimization | 532 |
| Tsarenkova I. M. Optimization of Supplies for Material Resources in Logistics System for Construction of Automobile Roads | 537 |

**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),

- 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),
- 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),
- 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),
- M. Z. ZGUROVSKY* (National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”, Kiev, Ukraine),
- R. B. IVUT* (Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus),
- A. S. KALINICHENKO* (Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus) (Deputy Editor-in-Chief),
- M. G. KISELEV* (Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus),
- Ya. N. KOVALEV* (Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus),
- V. V. KOZLOVSKIY* (Minsk Branch of Plekhanov Russian University of Economics, Minsk, Republic of Belarus),
- V. M. KONSTANTINOV* (Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus),
- N. V. KULESHOV* (Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus),
- S. N. LEONOVICH* (Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus),
- S. A. MASKEVICH* (International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus),
- E. I. MIHNEVICH* (Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus),
- NGUYEN THU NGA* (Institute of Energy Science of the Vietnam Academy of Science and Technology, Hanoi, Republic of Vietnam),
- M. OPELYAK* (Lublin University of Technology “Politechnika Lubelska”, Lublin, Republic of Poland),
- O. G. PENYAZKOV* (A. V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus),

Г. А. ПОТАЕВ (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),
О. П. РЕУТ (Филиал БНТУ «Институт повышения квалификации и переподготовки кадров по новым направлениям развития техники, технологии и экономики», Минск, Республика Беларусь),
Ф. А. РОМАНИУК (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),
И. И. СЕРГЕЙ (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),
В. Л. СОЛОМАХО (Республиканский институт инновационных технологий Белорусского национального технического университета, Минск, Республика Беларусь),
С. А. ЧИЖИК (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)

G. A. POTAEV (Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus),
O. P. REUT (Branch of the BNTU "Institute of Advanced Training and Retraining for New Areas of Engineering, Technology and Economy", Minsk, Republic of Belarus),
F. A. ROMANIUK (Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus),
I. I. SERGEY (Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus),
V. L. SOLOMAKHO (Republic Institute of Innovative Technologies of the Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus),
S. A. CHIZHIK (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 24.11.2017. Формат бумаги 60×84 1/8. Бумага мелованная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 150 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, 2017

DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-6-459-465

UDC 691.32:539.3/4.001.57

Composite Materials Based on Cement Binders Modified with SiO₂ Nanoadditives

B. M. Khroustalev¹, S. N. Leonovich¹, V. V. Potapov², E. N. Grushevskaya¹

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

²Scientific Research Geotechnological Center Far Eastern Branch
of Russian Academy of Sciences (Petropavlovsk-Kamchatsky, Russian Federation)

© Белорусский национальный технический университет, 2017
Belarusian National Technical University, 2017

Abstract. Development of nanotechnologies allows to solve a number of problems of construction materials science: increase in strength, durability, abrasion and corrosion resistance that determines operational reliability of building constructions. Generally it is achieved due to nanoparticles that modify the structure and properties of the existing materials or products and are entered into their volume or on a surface layer. It's theoretically and experimentally proved that the modified water has the bigger activity owing to the change of the ionic composition influencing the pH size and other parameters. As nanoparticles have a high level of surface energy, they show the increased tendency to agglomeration, meanwhile the size of agglomerates can reach several micrometers. In this regard an urgent task is to equally distribute and disaggregate the nanoparticles in the volume of tempering water. The experiments on studying of influence of the nanoparticles of silica distributed in volume of liquid by means of ultrasonic processing on characteristics of cement and sand solution and heavy concrete have been conducted. Nanoadditive influence on density, speed of strength development, final strength under compression of materials on the basis of cement depending on nanoadditive mass percent has been established.

Keywords: hydrothermal solution, modifiers, nanosilica, equal distribution, durability

For citation: Khroustalev B. M., Leonovich S. N., Potapov V. V., Grushevskaya E. N. (2017) Composite Materials Based on Cement Binders Modified with SiO₂ Nanoadditives // *Science and Technique*. 16 (6), 459–465. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-6-459–465

Композиционные материалы на основе цементных вяжущих, модифицированных нанодобавками SiO₂

Академик НАН Беларуси, докт. техн. наук, проф. Б. М. Хрусталеv¹,
докт. техн. наук, проф. С. Н. Леонович¹, докт. техн. наук, проф. В. В. Потапов², Е. Н. Грушевская¹

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

²Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения
Российской академии наук (Петропавловск-Камчатский, Российская Федерация)

Реферат. Развитие нанотехнологий позволяет решить ряд проблем строительного материаловедения: повышение прочности, долговечности, стойкости к истиранию, коррозионная стойкость. Это обуславливает эксплуатационную

Адрес для переписки

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

Address for correspondence

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

надежность строительных конструкций, что в основном достигается за счет модификации структуры и свойств существующих материалов или изделий наночастицами, вводимыми в их объем или наносимыми на поверхностный слой. Теоретически и экспериментально установлено, что модифицированная вода обладает большей активностью вследствие изменения ионного состава, влияющего на величину pH и другие параметры. Поскольку наночастицы обладают большой поверхностной энергией, они проявляют повышенную склонность к агломерации, при этом размер агломератов может составлять несколько микрометров. В связи с этим актуальной задачей является равномерное распределение и дезагрегация наночастиц в объеме воды затворения. Проведены эксперименты по изучению влияния наночастиц кремнезема, распределенных в объеме жидкости с помощью ультразвуковой обработки, на характеристики цементно-песчаного раствора и тяжелого бетона. Установлено влияние нанодобавки на плотность, скорость набора прочности, конечную прочность на сжатие материалов на основе цемента в зависимости от массового процента нанодобавки.

Ключевые слова: гидротермальный раствор, модификаторы, нанокремнезем, равномерное распределение, долговечность

Для цитирования: Композиционные материалы на основе цементных вяжущих, модифицированных нанодобавками SiO₂ / Б. М. Хрусталев [и др.] // *Наука и техника*. 2017. Т. 16, № 6. С. 459–465. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-6-459-465

Introduction

According to GOST (State Standard) ISO/TS 80004-1–2014, nanotechnology is a set of the technological methods applied for studying, designing and producing of materials, devices and systems including the focused monitoring and construction management, and interaction of the separate elements of a nanodiapason (about less than 100 nanometers in one of the spatial directions). The application of nanoadditives is limited due to their increased cost and that leads to new approaches of their production. Hydrothermal solutions are raw sources for sols and SiO₂ nanopowders production.

Technology of nanosilica production from hydrothermal solutions

Mutnovsky field on the Southern Kamchatka is one of places where in the Russian Federation the hydrothermal resources (250–300 °C) are located. Due to the water phase discharge of the heat carrier of Mutnovsky geothermal power plants (1100–1200 t/h) and the SiO₂ content in the initial environment (650–800 mg/kg), the potential capacity of one field of SiO₂ production reaches up to 3–5 thousand tons per year. Hydrothermal solutions are a nonconventional source of mineral raw materials, including amorphous silicas. Silicon dioxide is formed in a natural solution of orthosilicic acids (OSA) molecules as a result of a chemical interaction of solution with aluminosilicate minerals of breeds in a subsoil of hydrothermal fields. When the solution rises to the surface through productive wells and its temperature decreases, the solution becomes supersaturated and there polycondensation and nucleation of molecules OSA leading to formation of spherical silica nanoparticles with diameters of 5–100 nanometers occur [1–9].

Silica sol has been received as follows: the water environment containing orthosilicic acid (H₄SiO₄) with concentration of 600–800 mg/dm³ is sent to from the separators of geothermal power plant (GeoPP) to the reinforced concrete tank (cooler) where polycondensation of H₄SiO₄ with formation of silica particles (SiO₂) is carried out at 63 °C. After the cooler, the separator is delivered to a baromembrane ultrafiltration installation (BMU) to concentrate and produce a stable aqueous silica sol. The technological scheme of installation is presented in the fig. 1.

Characteristics of an initial separator: salinity – 702 mg/dm³, pH = 9.73, the total content of SiO₂ $C_t = 716 \text{ mg/dm}^3$, concentration of dissolved silicic acid (at 20 °C) – $C_s = 160 \text{ mg/dm}^3$. Pressure difference on a membrane layer is 0.14 MPa, a consumption of the solution passing through the installation – 1.2 m³/h. In the first concentration phase silica sol with a density of 1015–1022 g/dm³ and a SiO₂ content of $C_t = 28\text{--}40 \text{ g/dm}^3$ is received. In the second phase sol density is 1070 g/dm³ and content of SiO₂ $C_t = 115 \text{ g/dm}^3$.

Silica sol has been used for receiving the low-aggregated nanodisperse powder with cryochemical vacuum sublimation [10, 11] (fig. 2).

This mode provides the process of receiving the powders having a specific surface up to 500 m²/g, the volume of a time is 0.20–0.30 cm³/g, the average diameter of a powder time is from 2 to 15 nm, average diameters of particles are from 5 to 100 nm, density of superficial silanol groups is up to 4.9 nm⁻², residual humidity is up to 0.2 wt%, temped density is 0.035–0.300 kg/dm³. The chemical composition of the powder received with cryochemical vacuum sublimation in % in weight: SiO₂ – 99.700; Al₂O₃ – 0.173; CaO – 0.034; Na₂O – 0.034; K₂O – 0.069 [12, 13].

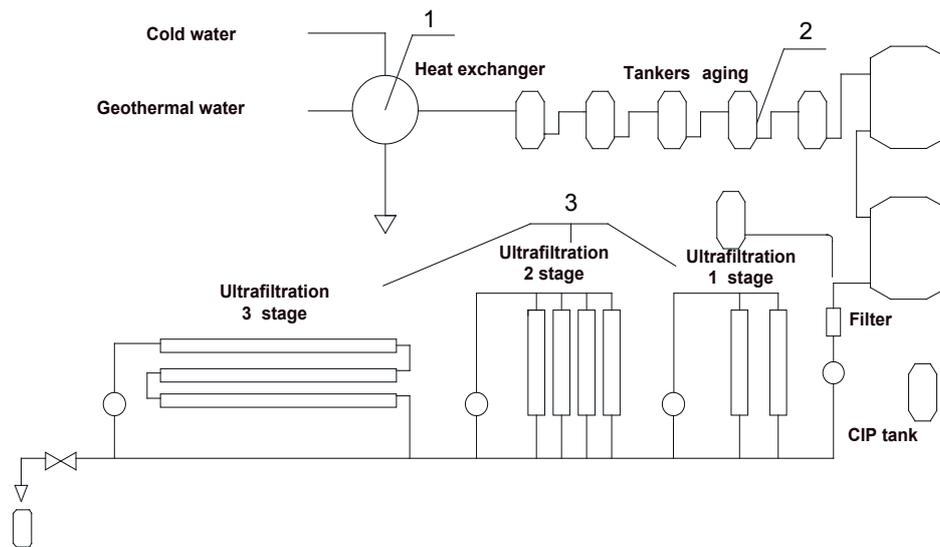


Fig. 1. Apparatus for producing a stable aqueous silica sol by ultrafiltration: 1 – hydrothermal cooling separators in heat exchangers; 2 – polycondensation of orthosilicic acid and the growth of silica particles under certain temperature and pH of the water; 3 – 3-stage ultrafiltration concentration of silica nanoparticles in hydrothermal environment (membrane filters)

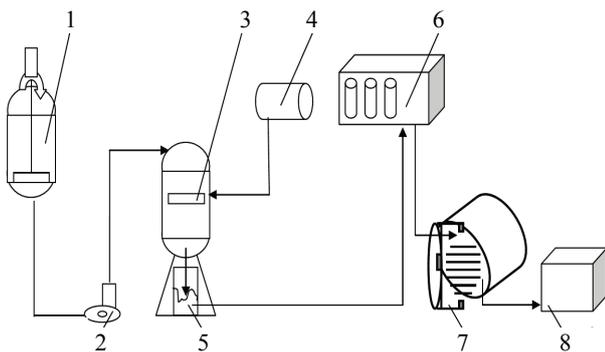


Fig. 2. The scheme of cryochemical equipment for receiving nanodisperse silica: 1 – device for water sol preparation; 2 – dosing pump; 3 – cryogranulator; 4 – tanker with fluid nitrogen; 5 – container for storage of cryogranules; 6 – industrial cold-storage plant; 7 – sublimation dryer; 8 – storage cabinet for finished stock

Materials. Prototypes

The portland cement (PC) which is classified as the CEM-I type in accordance with GOST (State Standard) 31108–2003 was applied as a binder of a class 42.5R. Diorite crushed stone of fraction from 5 to 20 mm in accordance with GOST (State Standard) 8267 (tempered density is 1300 kg/m³, true density – 2.73 g/cm³) and quartz feldspar sand according to GOST (State Standard) 8736 (finesness modulus ($M_f = 3.4$ and $M_f = 2.9$), true density – 2.62 g/cm³) mixed with standard quartz monofractional sand have been used as fillers. Nano-

silica powder with a specific surface of $S_{BET} = 156 \text{ m}^2/\text{g}$, the average diameter of a time of $d_p = 7 \text{ nm}$, the total volume of a time of $V_p = 0.298 \text{ cm}^3/\text{g}$ and silica sol being an opalescent liquid $\rho = 1072 \text{ g/dm}^3$, pH = 9.1, with a mass fraction of $\text{SiO}_2 = 115 \text{ g/dm}^3$ have been used as modifiers. The additives have also been used for the improvement of mix characteristics: solution of a superplasticizer (SP) with a density of 1099 g/dm^3 with the content of a solid phase of 219.8 g/dm^3 ; complex additive “Relamiks T2” (technical conditions 5870-002-14153664–04); additive – superplasticizer of polycarboxylates series having highly effective abilities on the water reducing in the form of water solution with a density of 1082 g/dm^3 and content of solid of 412 mg/g.

Silica powder was injected into a water phase until equal distribution of its powder particles of in the volume of liquid using the ultrasonic processing. Then it was added to cement and sand mix, preparing the solution. The solution was poured into the prisms of standard square section ($40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$) and then put on a vibrating table and condensed. When the samples were prepared, they were released from the forms and were stored in bathtubs filled with water before reaching the certain age. The durability tests of samples at compression were carried out on the 3rd, the 7th and the 28th day.

Analysis of experimental researches results

The injection of the silica nanopowder (SN) into cement-sand-water system in the amount from 0.001 to 0.200 wt% in cement (tab. 1) leads to substantial increase in durability of the cement samples at compression up to 30–40 % in comparison with the control samples without a nanoadditive at the same age. Thus the injection of silica nanoparticles facilitates not only the increase in final durability at compression, but also in speed of strength development of samples with nanoadditives (fig. 3, 4).

Generally the density of solid cement samples changed as well as the compressive strength: it increased with the strength increase. The exception was a sample with additive of 0.04 wt%. Compressive strength with such mass additive was increasing, and density was decreasing: 0 wt% – $\rho = 1970 \text{ kg/m}^3$; 0.0075 wt% – $\rho = 2000 \text{ kg/m}^3$; 0.04 wt% – $\rho = 1920 \text{ kg/m}^3$; 0.18 wt% – $\rho = 1990 \text{ kg/m}^3$.

Table 1

Kinetics of compressive strength change (MPa) of cement and sand samples with silica nanopowder additive

| Cement, g | Sand, g | Water, ml | SN | | f_c , MPa |
|------------|---------|-----------|--------|--------|-------------|
| | | | g | % | |
| Three days | | | | | |
| 500.00 | 1500 | 200 | – | – | 21.5 |
| 499.96 | 1500 | 200 | 0.0375 | 0.0075 | 32.7 |
| 499.80 | 1500 | 200 | 0.2000 | 0.0400 | 27.5 |
| 499.10 | 1500 | 200 | 0.9000 | 0.1800 | 35.6 |
| Seven days | | | | | |
| 500.00 | 1500 | 200 | – | – | 30.8 |
| 499.96 | 1500 | 200 | 0.0375 | 0.0075 | 46.6 |
| 499.80 | 1500 | 200 | 0.2000 | 0.0400 | 43.8 |
| 499.10 | 1500 | 200 | 0.9000 | 0.1800 | 47.8 |
| 28 days | | | | | |
| 500.00 | 1500 | 200 | – | – | 42.7 |
| 499.96 | 1500 | 200 | 0.0375 | 0.0075 | 59.1 |
| 499.80 | 1500 | 200 | 0.2000 | 0.0400 | 50.4 |
| 499.10 | 1500 | 200 | 0.9000 | 0.1800 | 59.0 |

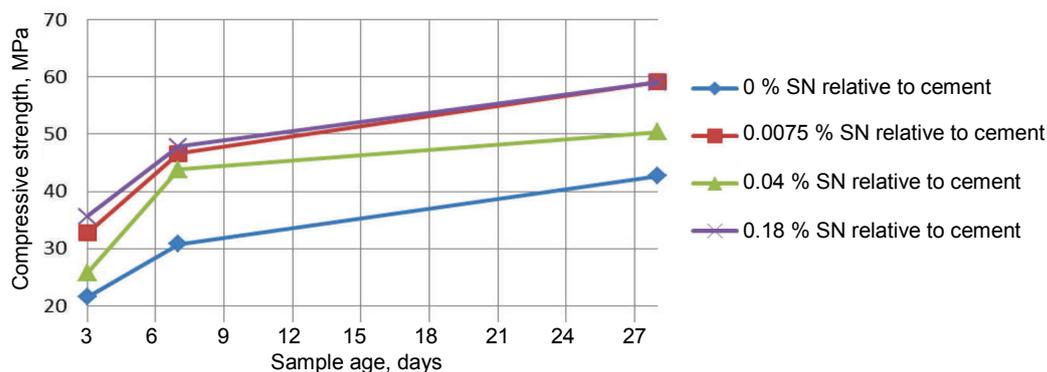


Fig. 3. Compressive strength of cement samples, depending on amount of the nanodisperse silica added

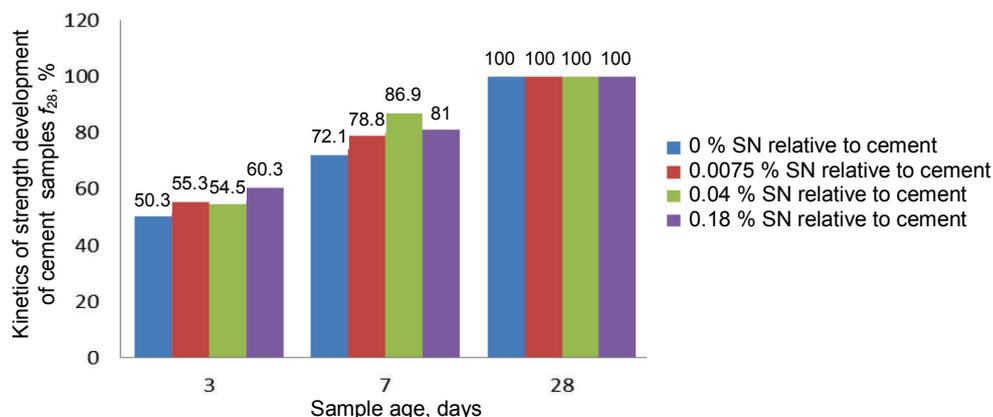


Fig. 4. Kinetics of strength development of cement samples in relation to the age of 28 days

Effects of silica sol additive were estimated according to the compressive strength increase of M200 mortar. The experiments on equable mixtures were carried out: the W/C of control samples without SiO_2 additive was equal to the W/C in solutions into which the silica sol was injected. Silica sol and superplasticizer solution were added to the tempered water and mechanically mixed. However at the equal W/C and equal amount of the added superplasticizer, the level of slump was lower in the solutions into which SiO_2 sol had been injected, i.e. that the liquid nanoadditive increased the viscosity and stiffness of a batch (fig. 5).

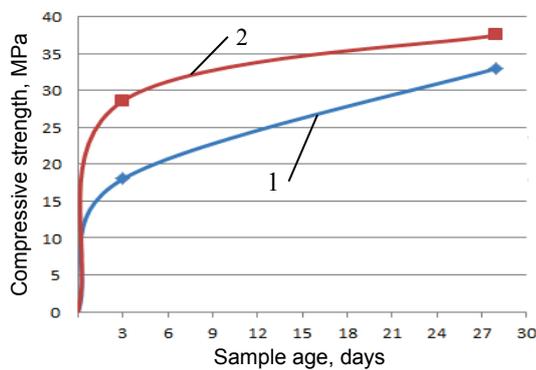


Fig. 5. Kinetics of strength development at compression of M200 mortar ($W/C = 0.45$):
1 – 1 % SP; 2 – 1 % SP + 0.5 % SiO_2

Gain of compressive strength with the different amounts of nanosilica additive at $W/C = 0.45$ on the 3rd day was ΔR_3 and on the 28th day – ΔR_{28} (fig. 6).

Nanosilica sol increases the speed of strength development, i.e. influences the hydration processes, therefore the relation of R_{28}/R_3 becomes lower in comparison with control samples without a nanoadditive. At 3-days age the effect of the additive becomes significant: when SiO_2 increases from 0.05 to 0.50 wt% – R_3 strength monotonously increases as well. At 28-day age R_{28} strength at W/C water/cement ratio = 0.45, at the SiO_2 flow rate = 0.05 wt% R_{28} gain is insignificant.

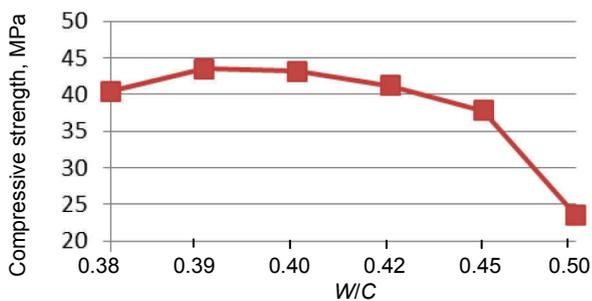


Fig. 7. Concrete mechanical properties at different rates W/C

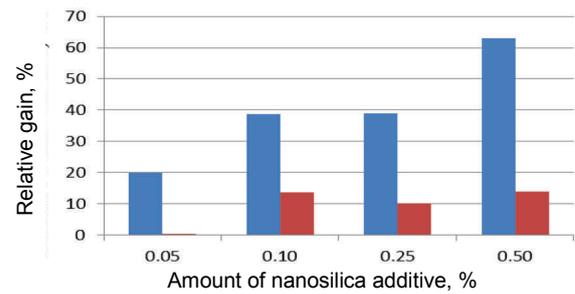
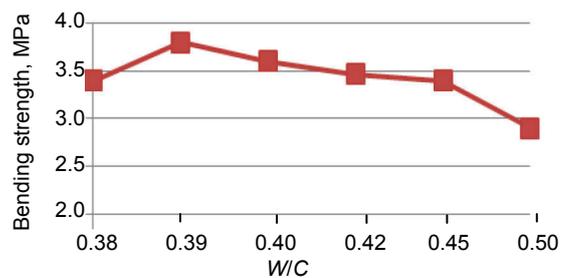


Fig. 6. Relative gain of compressive strength on the 3rd and on the 28th day age with the different amounts of SiO_2 additive ($W/C = 0.45$)
■ – ΔR_3 ; ■ – ΔR_{28}

The assessment of efficiency influence of SiO_2 sol on concrete strength characteristics was estimated separately and with superplasticizer. The results of samples experiments have shown that compressive strength gain at a SiO_2 dose of 0.01 wt% in cement was + 14.76 %, and at SiO_2 dose of 0.10 wt% in cement was + 21.86 %. The concrete experiments on compressive strength with injection of large amounts of SiO_2 sol nanoadditive (in amount of 0.3 %), have been carried out with superplasticizer “Relamiks T2”, which 1.0 wt% in cement had been injected at the different W/C from 0.50 to 0.38. They have shown that the effect of SiO_2 nanoadditive on concrete strength indicators is stronger that at low W/C (fig. 7).

Thus, gain of compressive strength in comparison with a control sample for 72 %, at the decrease of W/C from 0.50 to 0.39 compressive concrete strength increased almost for 85 %, bending strength – for 31 %, concrete density has increased for 7 %. At $W/C = 0.38$ and the given doses of nanosilica and superplasticizer the batch had the increased level of viscosity, could be barely fit in the prisms and there was a decrease in compressive strength gain to 71.8 % and in bending strength to 17.2 %. Generally the results have shown the regular decrease in compressive and bending strengths with the increase in W/C .



The effect of the sol addition on equable mixtures ($W/C = 0.61-0.71$) was determined by testing samples of concrete of the following composition: cement (SC 550) – (345 ± 5) ; quartz feldspar sand – 400; standard quartz sand – 400; stone of fraction 5–20 mm – 1060.

Silica sol was injected in the amount of 2 % of cement weight. Sol dosage was calculated by the formula:

$$V_{sol} = [C \cdot SiO_2/100]/K_s, \quad (1)$$

where V_{sol} – sol volume; C – cement consumption, g; SiO_2 – given silica concentration, %; K_s – SiO_2 content in the sol, g/dm^3 .

Equability of the concrete mixtures was achieved with the appropriate dosage of the polycarboxylate. The compositions of concrete mixtures are presented in tab. 2.

Analysis of experimental data leads to the conclusion that the additive of silica sol at a dose of 2 wt% SiO_2 in cement in combination with the superplasticizer on the basis of polycarboxylate ($PCX = 2.2-2.6$ % from cement mass) results in the strength increase up to the maturity interval of 28 days for 37–40 % (compared with compositions with no additive), and in the initial the maturity interval (1 day), this indicator reached 90–128 % (tab. 3).

Data of researches determine the use of cement systems of nanopowders and sols as modifiers, received from the hydrothermal solutions. Therefore, the mechanism of nanosilica action is complex due to the fact that nanosilica can be a filler and promote portlandit binding, form the additional centers of crystallization. Nanosilica takes part in binding of the forming lime, increases the density of system particles packing and is the center of crystallization of hydrate new growths.

The nanosilica presence influences the concentration of Ca^{2+} and OH^- ions in the liquid phase of portland cement pastes in the very first minutes of hydration in such a way that this leads to the reduction of duration of the induction period or the induction period does not occur at all. The formation of hydration products during the early period takes place with the participation of a surface of nanodisperse particles SiO_2 , and the surface of cement grains is blocked in a less degree with new growths that intensifies the hydrolysis process of cement phases [5].

Thus, hydrothermal nanosilica makes triple impact on cement – it strengthens hydration, blocks times, i. e. reduces water penetration, increases the adhesion ability. The injection of silica sol makes allows to increase in compressive and bending strength, and therefore in durability of the products.

Table 2

Composition of concrete mixtures

| Series | Composition No | Consumption per 1 m ³ | | | | | | |
|--------|----------------|----------------------------------|----------------------|----------------------|--------|--------------------------------|-------------|---------------------|
| | | Cement | Quartz feldspar sand | Standard quartz sand | Water | SiO ₂ , % of cement | SVC 5New, % | |
| | | | | | | | of cement | of SiO ₂ |
| 1 | 66 | 350 | 400 | 400 | 225.00 | – | – | – |
| | 67 | 343 | 400 | 400 | 245.25 | 2 | 2.33 | 1.165 |
| | 68 | 343 | 400 | 400 | 220.55 | 2 | 2.58 | 1.290 |
| 2 | 69 | 350 | 400 | 400 | 217.00 | – | – | – |
| | 70 | 343 | 400 | 400 | 209.23 | 2 | 2.23 | 1.110 |

Table 3

The results of experiment on concrete with the silica sol additive

| Series | Composition No | SiO ₂ , % of cement | SVC 5New, % | | W/C | Slump, cm | Mixture density, kg/m ³ | Compressive strength, MPa | | | | “Initial” strength, % (R_1/R_{28}) | |
|--------|----------------|--------------------------------|-------------|---------------------|-------|-----------|------------------------------------|---------------------------|--------------|--------------|--------------|--|-------|
| | | | of cement | of SiO ₂ | | | | 1 day | 2 days | 28 days | Steam curing | Normal storage | Steam |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 66* | – | – | – | 0.643 | 13 | 2345 | 6.8 | 12.0 | 26.6 | – | 26 | – |
| | 67 | 2 | 2.33 | 1.165 | 0.715 | 10 | 2322 | 12.7 (+86 %) | 19.8 (+65 %) | 33.6 (+26 %) | – | 38 | – |
| | 68 | 2 | 2.58 | 1.29 | 0.643 | 18–20 | 2320 | 15.5 (+128 %) | – | 36.4 (+37 %) | – | 43 | – |
| 2 | 69* | – | – | – | 0.620 | 16 | 2322 | 10.1 | – | 28.5 | 19.7 | 35 | 69 |
| | 70 | 2 | 2.23 | 1.11 | 0.610 | 18 | 2335 | 19.2 (+90 %) | – | 39.9 (+40 %) | 26.6 (+35 %) | 48 | 67 |

* Compositions No 66 and No 69 – control, in brackets – the performance criteria.

CONCLUSIONS

1. The nanosilica extracted from hydrothermal solution actively influences on compressive and bending strength.

2. Due to the high specific surface of nanosilica powder the nanoparticles have high chemical activity, and acting as nanofillers – fill micropores of a cement stone that leads to the reduction increase in density and strength.

3. Silica nanoparticles influence on the hydration process, increase the speed of strength development in early terms in comparison with the control samples.

4. The effect of silica sol additive is stronger with a superplasticizer.

REFERENCES

- Poukharenko Yu. V., Nikitin V. A., Letenko D. G. (2006) Nano-Structuring of Water Mixing as Method for Efficiency Improvement of Concrete Mixture Plasticizers. *Stroitelnyye Materialy* [Building Materials], (9), 86–88 (in Russian).
- Staroverov V. D., Poukharenko Yu. V. (2009) Scientific Principles for Application of Fulleroid-Type Carbon Nanoparticles in Cement Composites. *International Nanotechnology Forum, October 6–8, 2009*. Available at: <http://rusnano.tech09.rusnanoforum.ru/Home.aspx>. (in Russian).
- Poukharenko Yu. V., Aubakirova I. U., Staroverov V. D. (2009) Efficiency of Water Mixing Activation by Carbon Nanoparticles. *Inzhenerno-Stroitelny Zhurnal = Magazine of Civil Engineering*, (1), 40–45 (in Russian).
- Lkhasaranov S. A., Urkhanova L. A., Buyantuev S. L., Kondratenko A. S., Danzanov A. B. (2012) High Strength Concrete Based on Composite Binding Material. *Stroitel'nyi Kompleks Rossii. Nauka. Obrazovanie. Praktika. Materialy Mezhdunar. Nauch.-Prakt. Konf.* [Building Complex of Russia. Science. Education. Practice: Proceedings of International Scientific and Practical Conference]. Ulan-Ude, East Siberia State University of Technology and Management, 224–226 (in Russian).
- Urkhanova L. A., Khardaev P. K., Lkhasaranov S. A. (2015) Modification of Cement Concrete by Nanodisperse Additives. *Stroitelstvo i Rekonstruktsia = Building and Reconstruction*, (3), 167–175 (in Russian).
- Khroustalev B. M., Yaglov V. V., Kovalev Y. N., Romaniuk V. N., Burak G. A., Mezhentsev A. A., Gurinenko N. S. (2015) Nanomodified Concrete. *Nauka i Tekhnika = Science and Technique*, (6), 3–8 (in Russian).
- Goreva T. S., Potapov V. V., Gorev D. S., Shalaev K. S. (2012) Obtaining of Nanodisperse Silicone Dioxide from Hydrothermal Solutions while Applying Membranes and Cryochemical Vacuum Sublimation. *Sovremennye Problemy Nauki i Obrazovaniya = Modern Problems of Science and Education*, (4). Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=6720> (in Russian).
- Potapov V. V., Gorev D. S., Tumanov A. V., Kashutin A. N., Goreva T. S. (2012) Obtaining of Complex Additive for Improvement of Concrete Strength on the Basis of Nanodisperse Silicone Dioxide from Hydrothermal Solutions. *Fundamentalnye Issledovaniya = Fundamental Research*, (9, Part 2), 404–409 (in Russian).
- Sanchez F., Sobolev K. (2010) Nanotechnology in Concrete – a Review. *Construction and Building Materials*, 24 (11), 2060–2071. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2010.03.014.
- Shabanova N. A., Sarkisov P. D. (2004) *Foundations of Sol-Gel Method for Nanodisperse Silicon Dioxide*. Moscow, Akademkniga Publ. 208 (in Russian).
- Brown K. L., Bacon L. G. (2000) Manufacture of Silica Sols from Separated Geothermal Water. *Proceedings World Geothermal Congress 2000*. Kyushu-Tohoku, Japan, 533–537.
- Brazhnikov S. M., Generalov M. B., Trutnev N. S. (2004) Vacuum-Sublimation Method of Producing Ultradisperse Powders of Inorganic Salts. *Chemical and Petroleum Engineering*, 40 (11–12), 720–725. DOI: 10.1007/s10556-005-0039-0.
- Generalov M. B. (2006) *Cryochemical Nanotechnology*. Moscow, Akademkniga Publ. 325 (in Russian).

Received: 10.02.2017

Accepted: 14.04.2017

Published online: 28.11.2017

ЛИТЕРАТУРА

- Пухаренко, Ю. В. Наноструктурирование воды затворения как способ повышения эффективности пластификаторов бетонных смесей / Ю. В. Пухаренко, В. А. Никитин, Д. Г. Летенко // Строительные материалы. 2006. № 9. С. 86–88.
- Староверов, В. Д. Научные основы применения углеродных наночастиц фуллероидного типа в цементных композитах [Электронный ресурс] / В. Д. Староверов, Ю. В. Пухаренко // Междунар. форум по нанотехнологиям, 6–8 окт. 2009 г. Режим доступа: <http://rusnano.tech09.rusnanoforum.ru/Home.aspx>.
- Пухаренко, Ю. В. Эффективность активации воды затворения углеродными наночастицами / Ю. В. Пухаренко, И. У. Аубакирова, В. Д. Староверов // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 1. С. 40–45.
- Бетоны повышенной прочности на композиционных вяжущих / С. А. Лхасаранов [и др.] // Строительный комплекс России. Наука. Образование. Практика: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2012. С. 224–226.
- Урханова, Л. А. Модифицирование цементных бетонов нанодисперсными добавками / Л. А. Урханова, П. К. Хардаев, С. А. Лхасаранов // Строительство и реконструкция. 2015. № 3. С. 167–175.
- Наномодифицированный бетон / Б. М. Хрусталеv [и др.] // Наука и техника. 2015. № 6. С. 3–8.
- Получение нанодисперсного диоксида кремния из гидротермальных растворов с применением мембран и криохимической вакуумной сублимации [Электронный ресурс] / Т. С. Горева [и др.] // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 4. Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=6720>.
- Получение комплексной добавки для повышения прочности бетона на основе нанодисперсного диоксида кремния гидротермальных растворов / В. В. Потопов [и др.] // Фундаментальные исследования. 2012. № 9 (часть 2). С. 404–409.
- Sanchez, F. Nanotechnology in Concrete – a Review / F. Sanchez, K. Sobolev // Construction and Building Materials. 2010. Vol. 24, № 11. P. 2060–2071.
- Шабанова, Н. А. Основы золь-гель-технологии нанодисперсного кремнезема / Н. А. Шабанова, П. Д. Саркисов. М.: Академкнига, 2004. 208 с.
- Brown, K. L. Manufacture of Silica Sols from Separated Geothermal Water / K. L. Brown, L. G. Bacon // Proceedings World Geothermal Congress 2000. Japan. Kyushu-Tohoku, 2000. P. 533–537.
- Бражников, С. М. Вакуум-сублимационный способ получения ультрадисперсных порошков неорганических солей / С. М. Бражников, М. Б. Генералов, Н. С. Трутнев // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2004. № 12. С. 12–15.
- Генералов, М. Б. Криохимическая нанотехнология / М. Б. Генералов. М.: Академкнига, 2006. 325 с.

Поступила 10.02.2017

Подписана в печать 14.04.2017

Опубликована онлайн 28.11.2017

Развитие системы контроля за ходом строительно-монтажных работ на основе комплексного применения программных продуктов Primavera P6 Professional R8.3.2 и ArchiCAD 17.0.0

Докт. экон. наук, проф. В. П. Грахов¹⁾, канд. пед. наук, доц. Ю. Г. Кислякова¹⁾,
У. Ф. Симакова¹⁾, Д. А. Мушаков¹⁾

¹⁾Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова (Ижевск, Российская Федерация)

© Белорусский национальный технический университет, 2017
Belarusian National Technical University, 2017

Реферат. Рассмотрены вопросы применения и развития информационных технологий при управлении проектами в строительстве. На качество и эффективность успешной реализации строительного проекта оказывает влияние организационное и технологическое обеспечение работ на протяжении всего его жизненного цикла. Для достижения цели проекта необходимо четко организовать и спланировать работы, распределить роли и ответственность участников проекта, регламентировать состав и содержание проектной документации. При анализе технико-экономических показателей деятельности строительных организаций, а также систем управления, действующих в этих организациях, сделан вывод, что рыночный опыт функционирования систем оперативного управления не нашел достаточного применения в практике отечественных строительных организаций. Таким образом, внедрение в практику интегрированных систем управления качеством, издержками, временными параметрами строительства объектов, их ресурсным обеспечением будет способствовать улучшению экономического положения строительных организаций. Решение видится в применении новейших информационных технологий, максимальном внедрении компьютерных систем и программ в сферу производства, создании прикладных программных продуктов. Показана необходимость в разработке модели программного обеспечения, предоставляющего возможность комплексного применения инструментов информационных технологий в целях осуществления контроля над ходом строительно-монтажных работ, в систематизировании применения информационных технологий, позволяющих контролировать основные параметры строительно-монтажных работ, усовершенствовании системы обеспечения фактической информацией в процессе реализации проекта. Дан пример комплексного применения программных продуктов Primavera P6 Professional R8.3.2 и ArchiCAD 17.0.0.

Ключевые слова: информационные технологии, система контроля, строительно-монтажные работы, модель программного обеспечения, интегрированные системы управления, прикладные программы, информация

Для цитирования: Развитие системы контроля за ходом строительно-монтажных работ на основе комплексного применения программных продуктов Primavera P6 Professional R8.3.2 и ArchiCAD 17.0.0 / В. П. Грахов [и др.] // *Наука и техника*. 2017. Т. 16, № 6. С. 466–474. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-6-466-474

Development of Control System for Progress of Construction and Installation Works Based on Integrated Application of Primavera P6 Professional R8.3.2 and ArchiCAD 17.0.0 Software Products

V. P. Grakhov¹⁾, Yu. G. Kislyakova¹⁾, U. F. Simakova¹⁾, D. A. Mushakov¹⁾

¹⁾Kalashnikov Izhevsk State Technical University (Izhevsk, Russian Federation)

Abstract. The paper considers application and development of information technologies while carrying out project management in construction. Organizational and technological support of works throughout its life cycle exerts an influence

Адрес для переписки

Грахов Валерий Павлович
Ижевский государственный технический университет
имени М. Т. Калашникова
ул. Студенческая, д. 7,
426069, г. Ижевск, Российская Федерация
Тел.: +7 3412 58-53-58
rector@istu.ru

Address for correspondence

Grakhov Valerii P.
Kalashnikov Izhevsk State
Technical University
7 Studencheskaya str.,
426069, Izhevsk, Russian Federation
Tel.: +7 3412 58-53-58
rector@istu.ru

on quality and efficiency of successful implementation of the construction project. In order to achieve the project goal it is necessary perfectly to organize and plan works, distribute roles and responsibilities of the project participants, regulate composition and content of the project documentation. While analyzing technical and economic indices of construction organization activity and management systems operating in these organizations, conclusion has been made that market experience in functioning of operational management systems has not been adequately applied in practice of domestic construction organizations. Thus, introduction of integrated management systems for quality, costs, time parameters pertaining to project construction, their resource support will contribute to improvement of economic situation of construction organizations. The solution consists in application of up-to-date information technologies, maximum implementation of computer systems and programs in the sphere of production, creation of application software. It has been shown that it is necessary to develop a software model that provides a possibility comprehensively to apply information technology tools for monitoring progress of construction and installation works, systematization of information technology application that allow to control key parameters of construction and installation works, improvement of system for providing actual information in project implementation process. An example of complex application of software products Primavera P6 Professional R8.3.2 and ArchiCAD 17.0.0 is given in the paper.

Keywords: information technologies, control system, construction and installation works, software model, integrated control systems, application programs, information

For citation: Grakhov V. P., Kislyakova Yu. G., Simakova U. F., Mushakov D. A. (2017) Development of Control System for Progress of Construction and Installation Works Based on Integrated Application of Primavera P6 Professional R8.3.2 and ArchiCAD 17.0.0 Software Products // *Science and Technique*. 16 (6), 466–474. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-6-466-474

Введение

Один из основных факторов влияния научно-технического прогресса на все сферы деятельности человека – широкое использование новых информационных технологий. Среди наиболее важных и массовых сфер, в которых информационные технологии играют решающую роль, особое место занимает сфера управления. Под влиянием новых информационных технологий происходят коренные изменения в методах управления (автоматизируются процессы обоснования и принятия решений, организация их выполнения), повышаются квалификация и профессионализм специалистов, занятых управленческой деятельностью.

Сфера применения новых информационных технологий весьма обширна и включает различные аспекты – от обеспечения простейших функций служебной переписки до системного анализа и поддержки сложных задач принятия решений.

Учитывая все возрастающую конкуренцию, для успешной организации строительства необходимо максимально автоматизировать с использованием информационных технологий [1] проектные, расчетные, организационные и управленческие работы, сэкономив время и затраты человеческого труда.

Информационные технологии в строительстве начинали применять для решения расчетных задач. В настоящее время – это сложнейшие системы управления комплексными проектами, начиная с проектирования зданий, сооружений, инженерных коммуникаций и заканчивая автоматизированными средствами контроля объектов государственного надзора.

Цель работы – разработка модели программного обеспечения, предоставляющего возможность комплексного применения инструментов информационных технологий в целях контроля за ходом строительно-монтажных работ (СМР), обоснование возможности, значения, эффективности, экономической целесообразности данной модели в условиях возрастающей автоматизации строительных процессов.

Анализируя технико-экономические показатели деятельности строительных организаций, системы управления, действующие в этих организациях, можно сделать вывод, что рыночный опыт функционирования систем оперативного управления не нашел достаточного применения в практике отечественных строительных организаций.

В России известна группа компаний, применяющих информационные технологии: «Атриум», «СОДИС Лаб», UNK Project, «Эталон», «ВЕРФАУ Медикал Инжиниринг» (WERFAU Medical Engineering), АО «Градостроительное проектирование». Ожидается, что их число будет расти [2]. Согласно заявлению главы Министерства строительства РФ Михаила Меня, сделанному 14 сентября 2016 г., в 2019-м применение подобных технологий при проектировании объектов, которые финансируются за счет средств государственного бюджета, может стать обязательным.

Таким образом, внедрение в практику интегрированных систем управления качеством, издержками, временными параметрами строительства объектов, их ресурсным обеспечением будет способствовать улучшению экономического положения строительных организаций.

Решение видится в создании и внедрении новейших информационных технологий, прикладных программных обеспечений в сферу производства [3, 4].

Совершенствование системы обеспечения фактической информацией в процессе реализации проекта

Первостепенной задачей является создание программных продуктов, способных «безболезненно» интегрироваться в уже испытанный и налаженный рабочий процесс.

Выявлены следующие проблемы, возникающие в ходе внедрения информационных технологий в управление строительством: уверенность руководителей, что планирование в строительстве невозможно; неудачные примеры использования западных разработок, а также безуспешное применение бухгалтерских программ для управления строительством; сложность адаптации к проектным методологиям различных информационных систем; ориентация на западный опыт управления проектами, западную модель ведения бизнеса.

Объекты капитального строительства имеют чрезвычайно сложную структуру. Передача их описания в 2D-форматах или с помощью простого текста зачастую вызывает серьезное недопонимание и нарушение взаимодействия служб и организаций, участвующих в возведении объектов. Несмотря на это, в большинстве компаний трехмерные данные практически не используются на протяжении жизненного цикла объектов, за исключением проектирования. Кроме того, планирование процессов строительства зачастую выполняется не оптимально. Например, анализ показывает, что только 33 % своего времени рабочий тратит непосредственно на процесс строительства, 35 % – на перемещения, подготовку инструмента и материалов, перевозку чего-либо, а еще 32 % – это ожидание и простой. Эти цифры относятся к процессу строительства, но ситуация в инжиниринговых компаниях такая же из-за неправильного планирования наличия необходимых для выполнения процесса материалов, информации, инструментов. Решать все эти проблемы с помощью традиционных бумажных методов, 2D-данных и обычных средств документооборота и управления транзакциями, которые все еще преобладают на рынке, в сегодняшних условиях абсолютно неэффективно. В управлении проектами капитального строительства

должен применяться комплексный подход, включающий управление процессами проектирования и конструирования, планирование процессов строительства, взаимодействие с субподрядчиками, владельцами и эксплуатирующими организациями, управление активами. Сделать это возможно только при наличии принципиально новой платформы для управления жизненным циклом проектов капитального строительства. При традиционном методе выполнения проектов существующее положение вещей таково: чтобы выделить единицу информации, необходимо получить доступ к множеству информационных систем, разработанных для независимых друг от друга целей; информация устаревшая и нецелостная; отчеты выполняются вручную, не в реальном времени; 3D существует только для проектирования, все взаимодействие осуществляется в формате 2D или путем передачи текстовой информации [5].

Учитывая, что в процессе СМР возникают различные неточности во временных оценках работ, в их технологической взаимосвязи и другие, передаваемую информацию, в зависимости от ее влияния на реализацию проекта, следует классифицировать по признакам, которые требуют:

- пересмотра сети, когда при составлении графика некоторые работы были непонятны в деталях из-за несвоевременного получения рабочей технической документации, и по ходу строительства возникла необходимость их уточнения. В этих случаях могут появиться новые работы и события, т. е. изменится топология на отдельных участках запроектированной сети;

- пересмотра временных оценок в связи с возникновением непредвиденных обстоятельств (поломка строительных машин, незапланированный рост производительности труда и др.);

- изменения сроков поставки фондируемых материалов, строительных конструкций, оборудования. Тогда необходима быстрая оценка влияния возникших нарушений запланированного ритма на ход строительства;

- полного или частичного завершения тех или иных работ [6].

Очередная информация от ответственных исполнителей по различным каналам связи в определенной последовательности поступает в информационную систему для обработки: сначала сообщаются данные по всем выполненным работам, затем о новых работах и событиях и, наконец, о новых временных оценках и возникновении новых работ.

Результаты обработки модели проекта строительства информационной системой передаются на стройку не позднее чем на следующий день после получения информации, при этом используются те же каналы связи, по которым была передана информация со стройки. Информация по тем работам, которые попали на критический и близкий к нему путь и ускорение которых зависит не от руководства строительством, а от строительного управления в данном районе, министерства, заводов-поставщиков и других, передается непосредственно этим организациям и предприятиям.

После обработки модели на стройку поступает следующая информация:

- новые критические пути, а также близкие к ним, т. е. все те, которые выходят за границы установленного срока ввода объекта в эксплуатацию или совпадают с ним;
- сдвиги в сроках завершения конечного события по всем критическим и близким к нему путям;
- резервы времени по работам, находящимся на некритических путях;
- данные об использовании по отдельным работам минимальной продолжительности строительства взамен нормальной, если это имело место.

После получения ответной информации в управлении в течение одного дня разрабатываются мероприятия сокращения длительности работ, попавших на критический и близкий к нему пути. В каждом отдельном случае конкретно решаются вопросы переброски тех или иных машин и механизмов, частичного изменения технологии строительства. При этом в первую очередь следует использовать ресурсы по работам, имеющим значительный резерв времени. В необходимых случаях руководство стройки должно связаться с заводами-поставщиками, проектными институтами и другими организациями для ускорения решения вопросов, связанных со сроками выполнения работ по графику. Разработанные мероприятия должны быть конкретными, реальными и обеспечивать завершение строительства в установленный срок. В отдельных случаях, когда нет твердой уверенности, что разработанные мероприятия обеспечивают завершение строительства в принятый графиком срок, следует провести дополнительный контрольный расчет информационной модели объекта строительства с учетом принятых решений.

После разработки мероприятий по сокращению критического пути начальник или главный инженер строительства должен провести оперативное совещание, куда в обязательном порядке приглашаются руководители всех организаций, работа которых попала на критический путь. На этом совещании руководитель проекта кратко докладывает о результатах обработки информационной модели и разработанных совместно с ответственными исполнителями мероприятий. Принимаемые на этих совещаниях решения по ускорению работ, попавших на критический путь, должны оформляться протоколами. Такие решения являются окончательной программой действия на предстоящий период для всех организаций, занятых на стройке [7, 8].

Все организации, принимающие участие в выполнении работ, попавших на критический путь, в конце каждой смены должны докладывать руководителю проекта о ходе работ и принятых мерах для преодоления отставания, если они имели место. Компании, не имеющие отставания и претензий к смежникам, от таких докладов освобождаются. Для организации четкой системы управления при руководителе проектов должна быть создана группа специалистов в составе двух-трех человек, прошедших специальную подготовку по планированию и управлению строительством с помощью информационных технологий BIM (информационное моделирование здания или информационная модель здания), АСУП (автоматизированная система управления предприятием) [9]. Эти работники должны заблаговременно изучить не только конкретные условия производства строительной площадки, но и технологию возводимого объекта с тем, чтобы правильно определить очередность строительно-монтажных работ в зависимости от последовательности ввода в эксплуатацию отдельных частей объекта. Такие специалисты в своей практической деятельности обязаны:

- принимать от ответственных исполнителей информацию о ходе работ и передавать ее по соответствующей форме для обработки;
- разрабатывать совместно с ответственными исполнителями строительных организаций мероприятия по сокращению длительности критических путей;
- докладывать на оперативных совещаниях о разработанных мероприятиях по сокращению длительности критических путей [10].

Как уже отмечалось, на ход строительства большое влияние оказывают обеспечение строительного-монтажных работ технической документацией, поставляемыми материалами, всеми видами оборудования, те работы и события, которые в ряде случаев зависят от организаций, не подчиненных руководству стройкой. Такие работы принято называть внешними, а свершение их – внешними событиями.

В правильно разработанных информационных моделях необходимо выделять все внешние работы и события, сгруппированные по признакам воздействия на ход выполнения их различными уровнями руководства строительством. Нужно заранее установить перечень частей информационной модели, отвечающий различным уровням руководства. Так, руководству управления по строительству не следует передавать информацию о ходе выполнения отдельных частей зданий и сооружений, осуществление которых зависит от прораба, начальника участка. В соответствующие отделы управления передается только та информация, в которой затрагиваются вопросы, входящие в круг их деятельности. Например, передаются сведения о внутриорганизационных поставках строительных конструкций и деталей, поставках оборудования, зависящих от заказчиков, о передаче на стройку технической документации, о необходимости переброски на стройку дополнительной рабочей силы, об усилении работ субподрядных организаций и т. д., а также данные о выполнении сроков строительства по структурным элементам или этапам [11, 12].

Для ускорения воздействия руководства вышестоящих организаций на ход строительства очередная информация о тех или иных отклонениях от графика должна поступать в органы управления сразу же после обработки информационной модели.

Для построения эффективной системы осуществления контроля над реализацией строительного проекта необходимо соблюсти следующие требования:

- планы должны быть содержательными, четко структурированными и фиксированными;
- любое изменение первоначального и следующего за ним плана должно сопровождаться фиксированием внесенных поправок;
- система отчета за выполненные работы или финансирование расчетов должна быть ясной и понятной исполнителям, отражающей состояние проекта относительно исходных планов;

- следует заранее определить периодичность представления всех отчетов;

- необходимо предусмотреть эффективную систему реагирования, позволяющую преодолевать отклонения от запланированного хода работ, в том числе путем пересмотра плана.

В результате использования указанной системы контроля и управления:

- отслеживается фактическое состояние проекта на каждой стадии и в каждый момент, за который производится анализ его реализации;

- выявляются отклонения от запланированного хода выполнения проекта;

- вырабатываются корректирующие воздействия, направленные на устранение отклонений [13].

Разработка модели программного обеспечения, предоставляющего возможность комплексного применения информационных технологий в строительстве

На сегодняшний день в строительстве все больше появляется специализированных информационных программ. Это множество систем автоматизированного проектирования и черчения, сметные расчетные комплексы. В совокупности данные информационные технологии направлены на сокращение сроков проектирования, автоматизацию трудоемких этапов по разработке и выходу проектно-сметной документации. Проектная документация дает полную информацию об объемах работ, о стоимости, ресурсах, необходимых для предвещения ее в жизнь. Но строительным компаниям для успешной реализации проекта нужно провести целый комплекс мероприятий, в состав которых входят планирование, организация и управление строительными процессами.

Планирование включает в себя разработку календарных планов строительства, графиков потребности в ресурсах, календарных графиков, которые необходимы для обеспечения непрерывности строительного-монтажных процессов и равномерности потребления материальных, трудовых ресурсов в условиях четко определенных сроков и качества.

Особо важно уметь планировать в современных условиях, когда весьма высока степень неопределенности будущего. Поведение конкурентов зачастую непредсказуемо. Поэтому при экспертизе инвестиционного проекта в силу

несовершенства рыночных взаимоотношений точно оценить исход планового решения не представляется возможным [14].

Сталкиваясь с неопределенностью и заказчик, и управляющий проектом объективно подвергаются риску наступления какого-либо неблагоприятного события, влекущего за собой различного рода потери. Хотя для каждого участника инвестиционного проекта проявление риска индивидуально.

Учитывая опыт проведения реального прогнозного анализа инвестиционных проектов, можно прийти к выводу, что всесторонний учет разных видов неопределенности необходим как при оценке инвестиционных проектов, так и их планировании, а также при управлении реализацией проекта. Учет неопределенности информации и его эффективность напрямую зависят от выбора математического аппарата. Этап обоснования при управлении инвестициями и выбор такого математического аппарата, который будет обеспечивать приемлемую формализацию неопределенности и адекватное решение задач, весьма важны [14].

Как правило, большинство выбранных методов формализуют неопределенность только в качестве распределений вероятностей, построенных на основе субъективных оценок. В данных методах неопределенность, независимо от ее природы, отождествляется со случайностью, поэтому они не позволяют учесть все виды неопределенности, воздействующие на инвестиционные проекты. Использование вероятностного подхода в инвестиционном анализе затрудняется причинами, связанными с отсутствием статистической информации или недостаточностью выборки по некоторым параметрам инвестиционного проекта, что обусловлено уникальностью каждого инвестиционного проекта. Кроме того, точность оценки вероятностей (объективных и субъективных) зависит от множества факторов. Например, от достоверности статистической информации, качества экспертных оценок зависит и качество итоговой оценки эффективности и риска инвестиционного проекта. Отсюда возникает недоверие к получаемым на их основе прогнозам и решениям [15].

В связи с этим в строительной отрасли появилась необходимость в программных комплексах по планированию и управлению проектами. Они требуются для выбора оптимального способа реализации проекта с максимально эффективным использованием ресурсов.

В ходе планирования необходимо четко обозначить основные этапы строительно-монтажных работ, сроки их реализации. Каждый этап разбивается на отдельные виды работ, с отображением технологической последовательности их выполнения (сетевые графики, календарные планы). Немаловажно также учесть такие аспекты, как доставка, хранение материалов, вывоз строительного мусора и бытовых отходов. В силу большой стесненности задействовать достаточное количество техники невозможно. Ограниченность в площади, предполагаемой под складирование материалов, приводит к использованию их небольшого количества (из расчета потребности на один день) с возможным вывозом отходов в конце смены.

Из совокупности обозначенных особенностей следует вывод о необходимости комплексного, системного подхода к решению таких задач. Именно для этого и нужен информационный, программный продукт, который сможет решать не только задачи по определению состава, объема и сроков строительно-монтажных работ, но и сочетать их с материально-техническим обеспечением необходимыми материалами в данное время в конкретном месте [12].

Информационная система планирования представляет собой организационно-технологический комплекс методических, технических, программных и информационных средств, направленных на повышение эффективности процессов планирования, в основе которого лежит комплекс специализированного программного обеспечения [16].

Одна из главных задач планирования – разработка календарного графика. Он закладывает основы четкой, ритмичной, согласованной работы всех участников процесса реконструкции здания, учет обеспечения запланированных работ всеми трудовыми и материально-техническими ресурсами. Графики движения рабочих кадров и основных строительных машин по объекту, входящие в проект производства работ, рассчитываются в программном модуле календарного планирования. Аналогично графики поступления на объект строительных конструкций, изделий, материалов и оборудования – совместный результат работы модулей календарного планирования и материально-технического обеспечения строительства [17].

Внедрение информационной системы планирования может кардинально повысить эффективность реализации проекта. Основными ее преимуществами являются:

- автоматизация вычислительных процессов;
- развитие вариации планирования;
- определение и анализ равномерности финансирования проекта;
- централизованное хранение информации;
- возможность автоматизированной генерации отчетов.

Характерная особенность информационных систем планирования в строительстве – это то, что расчеты проводятся по сравнительно несложным алгоритмам, но получение результата является довольно трудоемким в связи с большим объемом обрабатываемой информации. Для этого и следует прибегать к использованию информационных систем планирования. В них содержится необходимый объем информации для проведения работ по планированию, установлены алгоритмы основных расчетов и наглядно представлены выходные данные в виде отчетов, текстовых и графических форм. Так, сокращение сроков планирования происходит за счет экономии времени на поиск требуемой информации и на вычислительных операциях [18, 19].

Принятие безошибочных решений в ходе анализа фактической информации основывается на полном представлении объекта строительства и достоверной информации. Для решения задач возможно комплексное применение программ Primavera P6 Professional R8.3.2 и ArchiCAD 17.0.0 (далее по тексту – программы), предоставляющих возможность актуализации графика производства работ (далее по тексту – график) и проектирования объемной модели объекта строительства соответственно. Взаимное использование функций программ достигается за счет «прикрепления» физических объемов работ (конструкций объекта) к плановым задачам (директивным срокам), установленным в графике производства работ [20].

Первоначально разрабатывается график производства работ в Primavera P6 Professional R8.3.2 (далее по тексту – Primavera). Для целей контроля проекта различными участниками (инвестором, заказчиком, генеральным подрядчиком и субподрядчиком) разрабатывается многоуровневый график, состоящий из графика:

- I уровня – графика директивных вех (графика инвестора), предназначенного для осуществления контроля за основными директивными вехами проекта;
- II уровня – графика заказчика для контроля директивных сроков;
- III уровня – комплексного графика выполнения работ (графика генподрядчика) для планирования и контроля работ подрядчиков и соблюдения директивных сроков проекта;
- IV уровня – локального графика по виду работ (графика субподрядчика) для контроля за выполнением объемов, соблюдением сроков.

Разработка многоуровневого графика начинается с графика IV уровня. На этом этапе устанавливаются сроки и объемы работ, сведения о численности и квалификации трудовых ресурсов, количестве техники и автотранспорта. В графике III уровня отображаются кумулятивные работы, которые объединяют работы IV уровня в группы. В графике II уровня отображаются подобъекты. График I уровня фиксирует даты начала и окончания работ на подобъектах.

В Primavera разрабатывается многоуровневый график, в ArchiCAD 17.0.0 проектируется модель объекта строительства. Дальнейшим этапом следует актуализация графиков – внесение фактической информации на отчетную дату.

На окончательном этапе отображаем визуальное выполнение строительно-монтажных работ (%). Для этого в ArchiCAD включаем слои в соответствии с:

- актуализированной информацией графиков производства работ;
- плановыми задачами.

Отчеты для графиков выводятся в соответствии с их детализацией (рис. 1, 2, табл. 1).

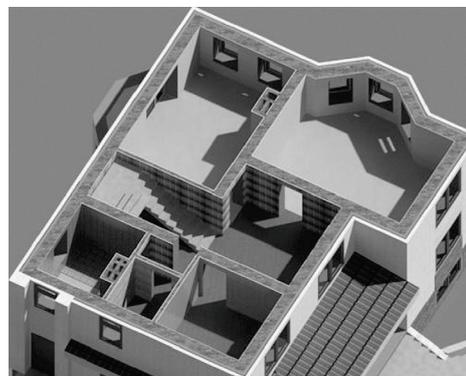


Рис. 1. Фактическое выполнение по графику IV уровня
Fig. 1. Actual execution according to diagram of IV level

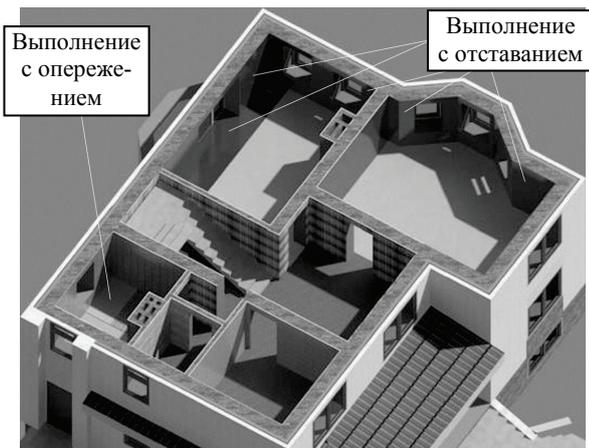


Рис. 2. Плановое выполнение по графику IV уровня
Fig. 2. Scheduled execution according to diagram of IV level

Таблица 1

Освоение физических объемов строительного объекта
Implementation of physical volumes for construction project

| Наименование | Оклеивание поверхностей обоями | | Устройство покрытий | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|-------|---------------------|------|------------------------|------|
| | | | из паркетных досок | | из керамических плиток | |
| | План | Факт | План | Факт | План | Факт |
| Физический объем | 197 | 99 | 86 | 39 | 8 | 4 |
| Освоение физического объема, % | 100 | 50,25 | 50 | 45 | 33 | 50 |

ВЫВОДЫ

1. При комплексном применении программных продуктов реализуется согласование функций программ – разрабатывается модель программного обеспечения комплексного применения информационных технологий с сохранением существующих рабочих практик и инструментов участников, задействованных в реализации проекта (строительная и проектная организация). Отражаются основные особенности разработки многоуровневого графика и его связи с объектом строительства. Формируется инструмент, позволяющий увеличить эффективность работы в процессе измерения освоения физических объемов объекта строительства, также повышается качество работ по разрешению проблемных вопросов и контролю исполнения сроков.

2. Научная новизна данного исследования заключается в том, что совмещение программных продуктов Primavera P6 Professional R8.3.2 и ArchiCAD 17.0.0 позволяет: на более высоком уровне и в сжатые сроки внедрить информаци-

онные технологии, способные контролировать основные параметры строительно-монтажных работ; усовершенствовать систему обеспечения фактической информацией в процессе реализации проекта; провести оценку экономической эффективности в организации модели программного обеспечения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гудвин, Г. К. Проектирование систем управления / Г. К. Гудвин, С. Ф. Гребне, М. Э. Сальдаго; пер. с англ. М.: БИНОМ: Лаборатория знаний, 2004. 911 с.
2. Талапов, В. В. Внедрение BIM в проектную практику: десять основных тезисов / В. В. Талапов [Электронный ресурс]. 2013. Режим доступа: http://www.integral-sib.ru/articles/vnedrenie_bim/vnedrenie_bim_v_proektnuyu_praktiku. Дата доступа: 10.09.2017.
3. Шпудейко, К. И. Проблемы внедрения информационных технологий в управление объектами строительства [Электронный ресурс] / К. И. Шпудейко, Л. Б. Зеленцов // V Междунар. студ. электрон. науч. конф. «Студенческий научный форум», 15 февраля – 31 марта 2013. Режим доступа: <http://www.scienceforum.ru/2013/42/4982>. Дата доступа: 10.09.2017.
4. Ансофф, И. Стратегическое управление / И. Ансофф. М.: Экономика, 1989. 519 с.
5. Артемьева, В. А. Психологические вопросы внедрения методологии управления строительными проектами / В. А. Артемьева, С. В. Бовтев // Промышленное и гражданское строительство. 2011. № 4. С. 24–25.
6. Леонович, С. Н. Технология строительного производства / С. Н. Леонович, В. Н. Черноиван. Минск: БНТУ, 2015. 505 с.
7. Анхимюк, В. Л. Теория автоматического управления / В. Л. Анхимюк, О. Ф. Олейко, Н. Н. Михеев. М.: Дизайн ПРО, 2002. 352 с.
8. Бесекерский, В. А. Теория систем автоматического управления / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. 4-е изд., перераб. и доп. СПб.: Профессия, 2003. 747 с.
9. Грахов, В. П. Развитие систем BIM-проектирования как элемент конкурентоспособности [Электронный ресурс] / В. П. Грахов, С. А. Мохначев, А. Х. Иштряков // Современные проблемы науки и образования. 2015. Вып. 1, ч. 1. Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=17950>
10. Гаврилов, Д. А. Управление производством на базе стандарта MRP II / Д. А. Гаврилов. 2-е изд. СПб.: Питер, 2005. 416 с.
11. Каппелс, Томас М. Финансово-ориентированное управление проектами / М. Томас Каппелс. М.: Олимп-Бизнес, 2008. 400 с.
12. Селютина, Л. Г. Инновационный подход к управлению инвестиционными процессами в сфере воспроизводства жилищного фонда / Л. Г. Селютина // Современные технологии управления. 2014. № 11. С. 37–41.
13. Колтынюк, Б. А. Инвестиции / Б. А. Колтынюк. СПб.: Изд-во Михайлова В. А., 2003. 848 с.

14. Побегайлов, О. А. Информационные системы планирования в строительстве / О. А. Побегайлов, А. В. Шемчук // Инженерный вестник Дона [Электронный ресурс]. 2013. № 3. Режим доступа: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1896>. Дата доступа: 25.09.2017.
15. Друкер, П. Ф. Бизнес и инновации / П. Ф. Друкер. М.: Вильямс, 2007. 432 с.
16. Управление проектами / А. И. Балашов [и др.]. М.: Юрайт, 2014. 384 с.
17. Заренков, В. А. Управление проектами / В. А. Заренков. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, СПбГАСУ, 2006. 312 с.
18. Кемп, С. Управление проектами. Без мистики / С. Кемп. М.: Гиппо, 2010. 372 с.
19. Гонтарева, И. В. Управление проектами / И. В. Гонтарева, Р. М. Нижегородцев, Д. А. Новиков. М.: Libroком, 2013. 384 с.
20. Грахов, В. П. Согласованные функции Primavera P6 Professional R8.3.2 и ArchiCAD 17.0.0 как измерительный инструмент в процессе контроллинга за ходом строительно-монтажных работ / В. П. Грахов, Д. А. Мухачев // Интеллектуальные системы в производстве. 2015. Вып. 1. С. 95–98.

Поступила 17.10.2017

Подписана в печать 24.11.2017

Опубликована онлайн 28.11.2017

REFERENCES

1. Goodwin G. C., Graebe S. F., Salgado M. E. (2000) *Control System Design*. New Jersey, Prentice Hall. 908.
2. Talapov V. V. (2013) BIM Implementation for Project Practice: Ten Main Theses. Available at: http://www.integralsib.ru/articles/vnedrenie_bim/vnedrenie_bim_v_proektnuy_praktiku. (Accessed 10 September 2017) (in Russian).
3. Shpudeiko K. I., Zelentsov L. B. (2013) Problems of Introduction of Information Technologies in Management of Construction Objects. *Proceedings of the 5th International Students Electronic and Scientific Conference "Students' Scientific Forum", February 15 – March 31, 2013*. Available at: <http://www.scienceforum.ru/2013/42/4982>. (Accessed 10 September 2017) (in Russian).
4. Ansoff I. (1979) *Strategic Management*. London, Palgrave Macmillan. DOI: 10.1007/978-1-349-02971-6.
5. Artemieva V. A., Bovtev S. V. (2011) Psychological Issues in Introduction of Methodology for Management of Construction Projects. *Promyshlennoye i Grazhdanskoye Stroitelstvo = Industrial and Civil Engineering*, (4), 24–25 (in Russian).
6. Leonovich S. N., Chernov V. N. (2015) *Technology of Construction Production*. Minsk, Belarusian National Technical University. 505 (in Russian).

7. Ankhimiuk V. L., Oleyko O. F., Mikheev N. N. (2002) *Theory of Automatic Control*. Moscow, Dizayn PRO Publ. 352 (in Russian).
8. Besekersky V. A., Popov E. P. (2003) *Theory of Automatic Control Systems*. Saint Petersburg, Professiya Publ. 747 (in Russian).
9. Grakhov V. P., Mokhnachev S. A., Ishtyakov A. Kh. (2015) Development of BIM-Design Systems as Element of Competitiveness. *Sovremennye Problemy Nauki i Obrazovaniya = Modern Problems of Science and Education*, (1–1). Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=17950> (in Russian).
10. Gavrillov D. A. (2005) *Control over Production on the Basis of MRP II Standard*. Saint Petersburg, Piter Publ. 416 (in Russian).
11. Cappel Thomas M. (2004) *Financially Focused Project Management*. J. Ross Publishing, Inc. 312.
12. Selyutina L. G. (2014) Innovative Approach to Management of Investment Processes in the Sphere of Housing Stock Reproduction. *Sovremennye Tekhnologii Upravleniya = Modern Management Technology*, (11), 37–41 (in Russian).
13. Koltynyuk B. A. (2003) *Investments*. Saint Petersburg, Publishing House of Mikhailov V. A. 848 (in Russian).
14. Pobegailov O. A., Shemchuk A. V. (2013) Information Systems for Planning in Construction. *Inzhenerny Vestnik Dona = Engineering Journal of Don*, (3). Available at: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1896> (Accessed 25 September 2017) (in Russian).
15. Drucker P. F. (2007) *Business and Innovation*. Moscow, Williams Publishing House. 432 (in Russian).
16. Balashov A. I., Rogova E. M., Tikhonova M. V., Tkachenko E. A. (2014) *Project Management*. Moscow, Urait Publishing House. 384 (in Russian).
17. Zarenkov V. A. (2006) *Project Management*. Moscow, Publishing House of Association of Educational Civil Engineering Institutions, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. 312 (in Russian).
18. Kemp S. (2004) *Project Management. Demystified*. McGraw-Hill. 354.
19. Gontareva I. V., Nizhegorodtsev R. M., Novikov D. A. (2013) *Project Management*. Moscow, Librokom Publ. 384 (in Russian).
20. Grakhov V. P., Mushakov D. A. (2015) Consistent Functions Primavera P6 Professional R8.3.2 and ArchiCAD 17.0.0 as Measuring Tool in the Process of Controlling Progress of Construction and Installation Works. *Intellektualnye Systemy v Proizvodstve = Intelligent Systems in Manufacturing*, (1), 95–98 (in Russian).

Received: 17.10.2017

Accepted: 24.11.2017

Published online: 28.11.2017

DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-6-475-484

UDC 624.074.5

Structural and Design Specifics of Space Grid Systems

G. M. Gasii¹⁾¹⁾Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University (Poltava, Ukraine)© Белорусский национальный технический университет, 2017
Belarusian National Technical University, 2017

Abstract. The aim of the study is to identify main trends in the development of space grid structures. In order to reach the purpose it is necessary to conduct a review of the known structural concepts, nodal connections and specifics of the space grid structures and to make conclusions on feasibility improvement of the considered structural concepts that make it possible to develop new solutions without disadvantages residing in the analogues. Analysis of papers written by foreign and national scientists and devoted to theoretical, numerical and experimental studies of stress-strain state, influence of different factors on it and geometrical optimization and designing of space grid structures has been conducted in order to achieve the objectives. Space grid structures and, in particular, flat double-layer grid and most frequent nodes have been studied in the paper. The paper contains a short review of the history on development of space grid structures. It has been found that a rapid development of structural designs was caused by scientific and technical progress and, in particular, improvement of physical and mechanical properties of materials, development of calculation methods, application of software systems for simulating behavior of the structure under load, which significantly increased the calculation accuracy and reduced complexity of design. It has been also established that main parameters that have influence on effectiveness of a structural design are geometric dimensions of its modular elements, ratio of its depth to the span. The world experience on development of connection components has been studied in the paper. The paper presents general classification of nodal connections. Main advantages and disadvantages of existing space grid structures are highlighted and it allows to determine possible methods for their improvement. Theoretical research has permitted to establish that the main direction of spatial grid structures improvement consists in development of new node connection types. Several methods for node improvement have been proposed while taking into account the obtained results.

Keywords: rod, node, welding, bolt, module, span, structure, lattice**For citation:** Gasii G. M. (2017) Structural and Design Specifics of Space Grid Systems. *Science and Technique*. 16 (6), 475–484. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-6-475-484

Особенности конструктивных решений и проектирования пространственных стержневых систем

Канд. техн. наук, доц. Г. М. Гасий¹⁾¹⁾Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка (Полтава, Украина)

Реферат. Цель работы – выделить основные направления в развитии пространственных стержневых конструкций. Для этого поставлены задачи: провести обзор известных конструктивных решений, узловых соединений и особенностей проектирования пространственных стержневых конструкций. Сделать выводы о целесообразности усовершенствования рассмотренных конструктивных решений с целью разработки новых, не имеющих недостатков, присущих аналогам. Для решения поставленных задач проведен анализ работ зарубежных и отечественных ученых, посвященных теоретическим, численным и экспериментальным исследованиям напряженно-деформированного состояния и влияния на него различных факторов, а также геометрической оптимизации и проектированию пространственных

Адрес для перепискиГасий Григорий Михайлович
Полтавский национальный технический университет
имени Юрия Кондратюка
просп. Первомайский, 24,
36011, г. Полтава, Украина
grigoriigm@gmail.com**Address for correspondence**Gasii Grygorii M.
Poltava National Technical
Yuri Kondratyuk University
24 Pershotravnevyi Ave.,
36011, Poltava, Ukraine
grigoriigm@gmail.com

стержневых конструкций. Проанализированы пространственные стержневые конструкции, в частности структурные плиты и наиболее часто встречаемые конструкции их узлов. Проведен краткий обзор истории развития структурных конструкций. Установлено, что быстрому развитию структурных конструкций способствовал научно-технический прогресс, в частности повышение физико-механических свойств материалов, развитие методов расчета, использование для моделирования условий работы на разные виды нагрузок программных комплексов, что существенно увеличивает точность расчета и уменьшает трудоемкость проектных работ. Также установлено, что основными параметрами, которые влияют на эффективность структурной конструкции, являются геометрические размеры его модульных элементов, соотношение его высоты к пролету покрытия. Изучен мировой опыт по разработке узлов соединения. Приведена общая классификация узловых соединений. Выделены основные преимущества и недостатки существующих пространственных стержневых конструкций. В результате проведенного теоретического исследования установлено, что основным направлением усовершенствования пространственных стержневых конструкций является разработка новых узловых соединений. Учитывая полученные результаты, предложено несколько способов усовершенствования узлов.

Ключевые слова: стержень, узел, сварка, болт, модуль, пролет, структура, решетка

Для цитирования: Гасий, Г. М. Особенности конструктивных решений и проектирования пространственных стержневых систем / Г. М. Гасий // *Наука и техника*. 2017. Т. 16, № 6. С. 475–484. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-6-475-484

Introduction

In the construction of large-span buildings and structures for various purposes often is a problem of the complexity of work and waste of material due to its inefficient use. This situation in the construction has occurred through outdated industry, properties and technical and economic indicators of the existing designs that are a morally and physically outdated over time. These factors have a direct impact on the overall cost and duration of construction of the object, so there is a need to improve and find new load-bearing structures, in particular space frames that would have led to significant savings in materials and reduce the complexity of technological processes of manufacturing and installation.

That was the cause of the ideas to develop of new space systems concept that would be able to combine not only advantages of existing space frames but would have their own original characteristics and their unique benefits and specifics. For that the world experience of studies of space grid structures must be carefully and thoroughly studied.

General information and brief history of the development of space frames

Today, the most well-known space frames systems are the space grid structures. These structures are widely known and disseminated due to well-shaping abilities, which is confirmed by a large number of original and unique objects worldwide [1]. These structures have many advantages and their use provides good cost-effectiveness compared to other more traditional structural solutions [2].

The advantages of the space grid structures that determine their effectiveness in comparison with other designs include [3–5]:

1. **Lightweight.** It is the most important advantages of a space grid structure. It is mainly due to the load transfer mechanism that is primarily axial tension or compression and as a result all material in any given element is utilized to its full extent. On top of that most space grid structures are constructed from steel or aluminum parts which even more considerably decrease their self-weight.

2. **Mass productivity.** Space grid structures built from simple prefabricated units, which are of standard size and shape. The units of the structures are produced as usual in the factory so that they can take full advantage of an industrialized system of construction. These units usually are easily transported and quite rapidly assembled on site by semi-skilled labor and erection with conventional equipment and machinery. Consequently, space grid structures can be built at a lower cost.

3. **Stiffness.** The structures are usually sufficiently stiff despite of its lightness. It is caused its three-dimensional character and to the full participation of its components. The structures also have the good rigidity and great stiffness and exceptional ability to resist unsymmetrical or heavy concentrated load.

4. **Versatility.** The space grid structures possess a versatility of shape and utilize the modules to generate various space grids, latticed and even free-form shapes. Moreover, the structures have the visual beauty and the impressive simplicity of lines.

The specifics of space grid structures are that they consist of modular mass-produced elements.

Depending on the shape and relative position of the modular elements, the space grid structures can be single-layer, dual-layer lattice shells or flat plates, etc. Using space grid structures allows creating large-span roof system that has sufficiently small depth, which is within the range of $1/16$ – $1/25$ of the span. In addition, the space grid structures are characterized as structures with a low weight and reduced sensitivity to seismic actions, for the construction of which small-sized modular standardized elements are used. This greatly facilitates the technological process of transportation, cargo handling works and installation. In addition, the use of modular components allows building architectural-ly expressive and attractive geometric shapes and surfaces. The advantage of the modular construction has been demonstrated more than a century ago, when it was designed, manufactured and installed the design for The Crystal Palace for The Great Exhibition 1851 in London and The Galleries des machines in Paris in 1889 [3].

Among the general class of space grid structures often highlight flat double-layer grids [6], but there are numerous examples of the implementation of space grid structures with more complex form: the scope, variety of shell, step plates, pyramids, etc. [4, 7]. These structures show great opportunities for the use of steel in the construction of large-span buildings namely, a variety of forms and shapes of which is unlimited. The flat double-layer grids are the most characteristic space grid structures [8, 9]. In most cases for the construction of such structures rods made from tubular steel elements are applied. Less widespread are elements made of steel profiles of other cross sections, such as angles, channels, thin-walled profiles [10, 11].

The first major impetus to the development of the space grid structures was due to the inventor Alexander Graham Bell. In the first decade of the twentieth century he explored the possibility of octahedral and tetrahedral space shapes from rods. He highlighted the double superior of three-dimensional grid elements – it is high load capacity and low weight. However, space grid systems of the first generation have been patented at the end of the 1930s, which later became known as the Unistrut system [12]. Nevertheless, space grid structures were not used widely in construction until the Mero system was designed in the early

40s of the last century in Germany. It should also be noted that Mero system was the first commercialized full spatial structure [13].

Wide implementation of space grid structures had got in the middle of the twentieth century, thanks to the researches in architecture and engineering, whose main objectives were to find the new and original forms and also alternatives to existing joints. Great contribution to the development of space structures was brought by American architect, engineer and inventor Richard Fuller who designed the geodesic dome [14].

In the late 1940s, K. Wachsmann and P. Weidlinger developed a system of spatial structural Mobilar. This system was substantially different from the existing ones, in particular, from Mero system and Unistrut system, so the nodes had not been separated from the rods, and geometry of connection parts were not so rigid and massive. During the 1950s, these systems continued to be improved, which has led to the development of other systems [5, 15–19].

The development of structural designs has not always been so rapid and intense as it is now. Earlier, constraining factor of its development was the degree of static indeterminacy that led to complex and time-consuming calculation. These difficulties were complicated for the analysis to a certain extent slowed down and limited the use of space grid structures. However, the introduction of computers has fundamentally changed the whole approach to the design, which contributed to a new wave of development of such structures. With the using computer software it is possible to analyze very complex dimensional structures with more accuracy and less time [20]. Because of this over the past half-century the development of space grid structures came to an entirely different level. In addition to the development of computer technology, there are other important factors influenced on the rapid development of space grid structures. Firstly, it is the advanced equipment and great opportunities to produce efficient structures. Secondly, it is the requirement for large indoor areas, besides the problem has always been timely and is particularly acute in the design of buildings for mass sport and cultural events, meetings, exhibitions, etc.

The problem of finding new structural forms to cover large areas has always been the main task of architects, engineers and scientists. A large

number of theoretical and experimental studies were conducted by many universities and research institutions in different countries. As a result, a considerable part of the results and developments was implemented in practice. New and creative solutions to the space grid structures most commonly implemented in the construction of sports arenas, exhibition halls, transport terminals, computer rooms, hangars for planes [21, 22], etc. There is a large number of different and interesting configurations have built worldwide. Each of these structures has its advantages and disadvantages relative to one other, but all are united by one common difference. The difference is that the space grid structures are collected from modular elements which in only on axial compression or tension [23].

Despite the obvious advantages and favorable opportunities for the development space structural systems have one major drawback – the complex manufacture of nodal connections.

The general trend in the development of structural designs is the tendency to minimize the number of sizes of modular elements, reduce the complexity of the technological installation processes and reduce the complexity of the nodal connections.

Design, construction and investigate the space grid structures

Design issues of space grid structures from time to time attracted the attention of scientists all over the world. Previously analysis of the history of the structures development has shown that the appearance and development of each new structural form is devoted to the desire to find the most cost-effective structural concept. Significant number of works of foreign and domestic scientists is devoted to this issue and the study of structural designs. Most of the works are related to the rational designing and finding of relevant geometric parameters [24]. In [25] constructive solutions and schemes, methods of calculation and installation methods have been studied, as well as investigations of the effect of the size and shapes of the structural elements on the stress-strain state and the mass of the structure. Research and further development of constructive solutions for the space grid structures and methods of their calculation have performed by M. N. Kirsanov, V. I. Trofimov,

R. I. Hisamov, V. N. Shimanovsky, A. V. Shimanovsky, J. Chilton, J. M. Gerrits, Z. S. Makowski, G. S. Ramaswamy [26–29] and others.

The main geometric parameters of structural designs are height H and the size of the module M . Height it is the distance between the top and bottom chord, and the module it is the distance between the two joints in the top chord (fig. 1). Despite the fact that these parameters seem to be quite simple, properly chosen values can significantly influence the cost of the structure. In turn, the height and size of the module is influenced by several parameters: the mesh type, the distance between supports, the form of the roof, as well as the nodal system. In fact, the height and size of the module are interconnected. The parameter that connects them is the angle α between the rod of the module and its horizontal projection. This angle should be between 30° – 60° , but advisory in nature is equal to the angle of 45° .

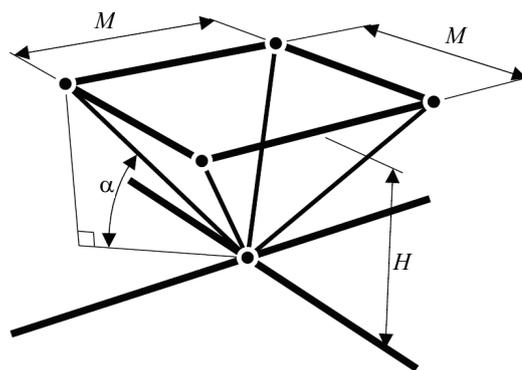


Fig. 1. Basic geometric dimensions of module for space grid structures

Common ratio of height H to the size of the module M does not exist and, as a rule, is determined by practical experience. It is believed that the structural height of the structure is relatively small as compared with conventional structures. However, one must consider the fact that a small structural height with respect to the structures span creates the need for smaller size modules, which will promote the growth of their quantity, and hence the number of nodes, the total weight of the structure and cost structure. Structural optimization is the best way to determine the optimal ratio of height to span. In [30], using the principles of structural optimization the optimal ratio spans search was carried out in the range of 24 to 72 m and a height of the space grid structures. Seven

types of gratings were investigated. The size and height of the modules were taken as a variable, and the total value was taken as the objective function, which was the sum of the cost of the elements, joints, roofing and enclosing materials. This approach made it possible to argue about the validity of the data. It has been found that the optimum design parameters for the various systems are different, and the module size generally increases with span. In addition, empirical formula was obtained to determine the optimal ratio of the span and height. Based on these expressions, diagrams of dependence between the span L and height H of the space grid structures were built (fig. 2) [30]. Also for comparison of the results fig. 2 showing further research in this area, which are discussed in [31].

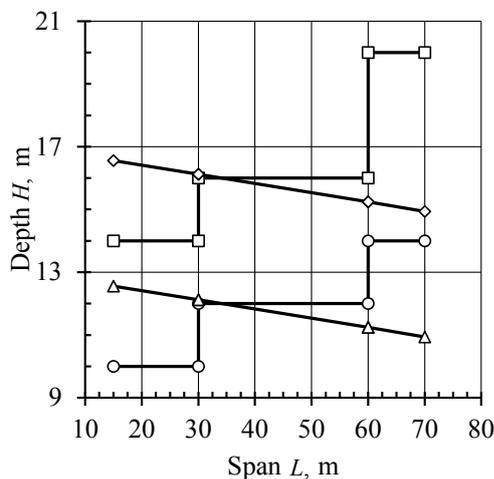


Fig. 2. Relation between depth and span of double-layer grids:
 —○— — bottom boundary by Chinese Academy;
 —□— — top boundary by Chinese Academy;
 —△— — bottom boundary by Lan;
 —◇— — top boundary by Lan

Besides the optimal geometric dimensions of the modular elements in the design of structural designs the efficient and reliable constructive solution of the nodal connections occupies is also an important place.

Review of existing nodal connections and their research

As mentioned previously structural designs consist of rod members of different cross sections, which are joined at the nodes. Currently there are a large variety of nodal connections solutions but generally they can be divided into groups:

Group I – the nodal connections are made with mounting welding;

Group II – bolt connection or other modular elements are made without any welding. Such connection depend on how the bolts in, can be divided into two subgroups, where nodes bolts working in compression or tension bolts and bolts which resist the shear;

Group III – combined nodal connections. This group includes compounds in which welding is carried out in the factory, and the assembly with bolts on site.

In most cases, manufacturing the nodes requires the use of special connection parts – connectors [32], and they can be manufactured from cast, forged or welded spheres, hemispheres, polyhedrons, and other forms [32].

Each group has its own advantages and disadvantages. The advantages of welded joints should include the ability to combine different number of rods from almost any angle. However, welded joints have a number of disadvantages, among which a large amount of welding; the complexity of the alignment angles and hence higher probability appearance of eccentricity; inability to reassembling and disassembling; inhomogeneity residual weld and welding stress; stringent requirements for a length of rod. Given this, widely spread welds have not received.

Welded node connections include Oktaplatte system, Segmo, SDC and many others. The node system Oktaplatte is the most known among this class of connections. The German company Manessman developed it, and its feature lies in that the node consists of two hemispherical hollow steel parts that in the joint with steel diaphragm made as a disc. The most famous example of the use of Oktaplatte system is a pavilion built for the World New York Exhibition in 1964–1965.

Bolt node connections include Sarton system, Premit, Triodetic, Mero, Space Deck, Envision, Unibat, Nodus, NS, Zachod, Berlin, Pyramitec, БрГТУ, System III, Pyramid Sphere System, Hemispherical Node System, Unistrut, Mostostal, Newbat, TRIDI 2000; ONDDI, Uzay, Montal, Spherobot, Axent, Wuppermann, Orbik and many others.

As can be seen from a review of the existing bolt nodal systems of structural designs in different countries own systems have been developed, which may be structurally differ from one another through connection way of rod elements, cross-

sectional shape and form of the connector core elements. In the world practice of building space grid structures a nodal connection with axial bolts is widespread. The most popular among these systems as mentioned earlier is Mero system that was proposed by German designer M. Mengerlinghausen. This system for connecting of rod shaped elements involves the use of the connector, which is a solid steel spherical polyhedron shape with arranged in it threaded holes. This connector allows you to connect up to 18 of rod shaped elements, which are equipped with axle bolt and sleeve. The node Mero system has a significant number of modifications and improvements [33].

Analogues of Mero system are the Orona, Cubotto, Vestrut, Villeroy and other systems. Connectors of such systems may consist of several parts, which are tightened a central bolt.

Based on the overall review of the known nodal connections we can see that the overwhelming number of them have bolts and designed to combine elements with tubular section. In most of these nodes bolts works in considerable axial tension or compression force. However, assembly errors, accidental damage or deformation can lead to bending moments that can cause the destruction of the bolts in the thread-free section. In [34] it suggested that the node connection of the tubular elements for space grid structures, which excludes the risk of the destruction bolt must working on a bend. The paper also refers to the universality of the developed connection and the possibility of its widespread use for covering various buildings and structures, also in the construction of arch type and domes, as well as in covers over the stands of stadiums. The efficiency of the developed node according to studies [34] is that it has been designed to use standard bolts, which in double cross shear that increases by 2.0–2.5 times the load-bearing capacity in comparison with special bolts used in Mero system.

After analyzing specifics of the existing nodes of space grid structures and studies, from the perspective of ease of assembly, the most effective are the nodal connections with welded sheet. Such constructive solutions of nodes allow making their shapes simpler, and hence to reduce production costs. Less complex and more reliable are the node elements what constituted a single solid part: stamped, milled or bent because such nodes are not weakened due welds.

Complexity level of nodal connections significantly influences on the total cost of space grid structures, and consequently on the technical and economic feasibility of their application, because they account for 20 % of steel. Without exception, all space grid structures consist of rods and junctions, so the mass of bars and nodal elements determines the total weight of the structure. According to [35], the total weight of the modular cell of space grid structures is determined by multiplying the construction coefficient of space grid structures and rods weight. Moreover, weight of rods, depending on the type of lattice structure is defined by different formulas [35]. Also, in the mentioned work at graphs are displayed construction coefficients that were calculated for the most common nodal solutions and were set their values depending on span of the structures. With these graphs it is possible to define the geometric parameters in which a particular type of node connections is efficient to use, for example, according to [35] for large spans covers Mero, Unistrut and KIBI are not rational systems of nodal connections because construction coefficients of these systems with increase span have been rising, and when the span more than 40 m is much greater than the coefficient for flat trusses.

The nodal connections, except weight, are characterized by pliability that has effect on stress-strain state of structures. In space grid structures with a high degree of redundancy, pliability of nodal connections leads to a deviation of the actual behavior of structures from the design scheme resulting in a redistribution of stresses in the structure. In addition, for the space grid structures, which combine elements of bolt normal accuracy, pliability bolted connections should be considered also because it leads to increase a structure deflection [36]. In this case, the total deflection, which are obtained for a system with fixed connections, it is recommended to increase by 30 %, if the difference between the diameter of the bolt and hole 2–3 mm, and 20 % when the difference is 1.5 mm [37].

Also, the pliability of node connections, depending on the type of space grid structures has varying degrees and shape of influence on its behavior. Accounting pliability of nodal connections for example for a mesh dome has allowed reducing the stresses in rod elements up to 15 % [38], but in the space grid slabs pliability has another effect. It was found that the redistribution of stresses in

space grid slabs is extremely uneven: in some elements pliability of bolt connection causes minor changes, in others the change stresses can reach up from 20 to 60 %, in addition in some elements the stresses can change the sign [36]. Therefore, the calculation of structures with bolted connections with their possible pliability should be taken into account for the purpose to obtain realistic behavior scheme.

Pliability of nodal connections is possible to taken into account in several ways: by replacing the elastic modulus of the nodal connections; installation of elastic elements on the ends of the rods; modeling nodal connections as polygons. Accounting pliability of nodal connections by any of the methods shows the increase of structure deformability [38]. Pliability of nodes may also be eliminated or reduced by improving the quality of prefabricated elements or parts and the welded joints [35].

In addition, the choice of node connections and components of space grid structures should be carry out based on the integrity and reliability of the entire system. Errors that may occur during the design lead to increased consumption of materials, erection difficulties, inefficient operation and undesirable initial efforts. That is why the load-bearing capacity of node connections should exceed the load-bearing capacity of the most stressful rod member in tension thereby making the necessary reserve load-bearing capacity of structure. In this case, even in case of accidental failure of most stressful element or node, the situation is not dangerous, as there is a redistribution of stresses. In the case where at designing have the inequality that indicates the most stressful load bearing capacity has more than load bearing capacity of node so there is overrun of steel [35].

That is why it is so important the choice of the nodal connections need to make comprehensive analysis of it in all points.

Analysis of the results of research and the search for ways to improve the nodes

Considering the above and after a number of various nodal connections of space grid structures have been considered. It was established that the determining factor in the making of the cost of the erection of the structures is the complexity of the connection node. This statement has been made based on that in general, the load-bearing capacity of space grid structures is dependent on

the bearing capacity of the node, and when the node is designed with a significant reserve of strength, it is accompanied by the overrun of steel. Hence, than the node is simpler in to manufacture and assembly, the less time-consuming, and therefore inherent safety factor will not cause large expenditure of steel. In addition, a small labor and material intensity positive effect on reducing the total cost of coverage.

As noted above depending on the way of assembly, the nodes are classified in bolted, welded and combined, but bolted nodes are used widely because they have factory readiness and faster assembly procedure. However, it should be noted that the welded joints can be used quite effectively. For example, if the components made in lap joint [39] instead of butt joints, it is possible to reduce the accuracy requirements for the lengths of rods. Also, for welded assemblies, at light loads, as the rods of the lattice can be used steel rods of round or square cross-section (fig. 3).

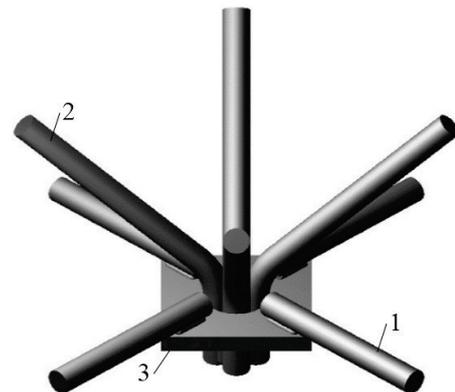


Fig. 3. Welded node of space grid structure: 1 – bottom chord; 2 – slanted rods; 3 – steel plate

It has been proposed several ways to improve the space grid structures based on the information received, that caused a development of a concept new space rod system. The specifics of this system are in providing collaboration not only grid modular elements, but also plates, made with durable and efficient building materials, including translucent. Constructively these systems consist of top and bottom cords and space lattice. At the same time, top chord is made of rigid plates that in compression and transverse force, the bottom chord is made of flexible linear elements [40]. It should also be noted that this structure is modular, that is assembled from space structural modules which are completely produced at factory [41]. These systems have three types of modules. They are

support and span space modules and line modules from which make a flexible chord. This structural concept allows constructing cover with different forms and shapes, including a variety of shells [42]. Structural concept of such systems involves usage specially designed nodes for connection modules in the integral structure [43, 44].

The results of theoretical, numerical and experimental studies of this system enable us to assert about its efficiency and reliability, as well as resources saving, which is especially relevant in today's construction industry [45].

CONCLUSIONS

Considering the above, it was found that the nodal connections are members of structures that determine the cost of material consumption and complexity of installation work for space grid structures. Nodes are classified on bolted, welded and combined ones. Bolted and combined nodes are most widely used. It should be noted that a significant number of existing nodes connections, including welded, involve the use of special steel connectors. Usage connectors, generally adds weight and complexity of assembly, and also requires the production of works with high accuracy. The analysis of theoretical and experimental studies have established that the most effective nodal connections are combined with gussets due to simplicity of manufacture, low weight and absence of axial bolts. However, these nodes have significant drawbacks. There are a large number of bolts and the complexity of using tubular rod elements and in the case of welding there is a significant total length of the assembly weld. Therefore, as a result of the theoretical studies highlighted effective nodal connections, but it remains a certain number of problematic issues that require further research. Hence has been developed the concept of the new space grid system, the constructive solution that will save both material and human resources in the construction of covers of different forms and shapes for large-span buildings.

REFERENCES

1. Furche A. (2016) *Tragkonstruktionen: Basiswissen für Architekten*. Springer Vieweg. 210 (in German).
2. Shimanovsky O. V., Bespalov. S. M. (2002) Peculiar Features in Designing of Long Span Roof Structures on the Basis of Structural Plates. *Budivnitstvo Ukrainy* [Construction of Ukraine], (5), 21–24 (in Ukrainian).
3. Chilton J. (2000) *Space Grid Structures*. Boston, Architectural Press. 180. DOI: 10.4324/9780080498188.
4. Kancheli N. V. (2009) *Building Space Structures*. 3rd ed. Moscow, Publishing House "ASV". 112 (in Russian).
5. Lan T. T. (1999) *Space Frame Structures*. Boca Raton, CRC Press LLC. 129. DOI: 10.4324/9780080498188.
6. Allen E., Iano J. (2013). *Fundamentals of Building Construction. Materials and Methods*. 6th ed. Wiley. 1024.
7. Parke G. A. R., Disney P. (2002) *Space Structures 5*. London, Thomas Telford Ltd. 1613. DOI: 10.1680/ss5.v1.31739.
8. Lubo L. N., Mironkov B. A. (1976) *Plates of Regular Spatial Patterns*. Moscow, Stroyizdat Publ. 105 (in Russian).
9. Morozov A. P., Vasilenko O. V., Mironkov B. A. (1977). *Space Structures of Public Buildings*. Leningrad, Stroyizdat Publ. 168 (in Russian).
10. Gemmerling A. V. (2014) Structural Constructions from Efficient Roll-Formed Sections. Saarbrücken, Lap Lambert. 137 (in Russian).
11. Mitrofanov S. V. (2012) Operation of Unit-Forming Elements in Structural Construction. *Metalevi Konstruktsii = Metal Constructions*, 18 (1), 17–25 (in Ukrainian).
12. Condit C. W. (1961) *American Building Art: the Twentieth Century*. Oxford University Press. 427.
13. Schueller W. (1983) *Horizontal-Span Building Structures*. John Wiley and Sons. 594.
14. Edmondson A. C. (2007) *A Fuller Explanation: the Synergetic Geometry of R. Buckminster Fuller*. Pueblo, Emergent World Press. 339.
15. Bai Y., Yang X. (2012) Novel Joint for Assembly of All-Composite Space Truss Structures: Conceptual Design and Preliminary Study. *Journal of Composites for Construction*, 17 (1), 130–138. DOI:10.1061/(asce)cc.1943-5614.0000304.
16. Gerrits J. M. (1998) An Architectonic Approach of Choosing a Space Frame System. *Lightweight Structures in Architecture, Engineering and Construction*, 2, 992–999.
17. Makowski Z. S. (2002) Development of Jointing Systems for Modular Prefabricated Steel Space Structures. *Proceedings of the International Symposium*. Warsaw, IASS Polish Chapter, 17–41.
18. Andrade de S. A. L., S. Vellasco da P. C. G., Silva da J. G. S., Lima de L. R. O., D'Este A. V. (2005) Tubular Space Trusses with Simple and Reinforced End-Flattened Nodes-an Overview and Experiments. *Journal of Constructional Steel Research*, 61 (8), 1025–1050. DOI: 10.1016/j.jcsr.2005.02.001.
19. Yang X., Bai Y., Ding F. (2015) Structural Performance of a Large-Scale Space Frame Assembled Using Pultruded GFRP Composites. *Composite Structures*, 133, 986–996. DOI: 10.1016/j.compstruct.2015.07.120.
20. Gorodetsky A. S., Evzerov I. D. (2005) *Computer Models of Structures*. Kiev, Fakt Publ. 344 (in Russian).
21. Liu X., Zhao Q., Liu H., Chen Z. (2011) Innovations in Design and Construction of the New Stadiums and Gymnasiums for the 2008 Beijing Olympic Games. *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures*, 52 (1), 39–52.
22. Kholopov I. S., Balzannikov M. I., Alpatov V. Yu. (2012) Application of Grid Metal Structures in Roofing of HPP (Hydro Power Plant) Machine Halls. *Vestnik Volgogradskogo Gosudarstvennogo Arkhitekturno-Stroitel'nogo Universiteta. Ser.: Stroitel'stvo i Arkhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 47 (28), 225–232 (in Russian).
23. Engel H. (2009) *Structure Systems*. Ostfildern, Hatje Cantz. 352.
24. Tashakori A., Adeli H. (2002) Optimum Design of Cold-Formed Steel Space Structures Using Neural Dynamics Model. *Journal of Constructional Steel Research*, 58 (12), 1545–1566. DOI: 10.1016/s0143-974x(01)00105-5.
25. Trofimov V. I., Begun G. B. (1972) *Structural Constructions*. Moscow, Stroyizdat Publ. 172 (in Russian).

26. Kirsanov M. N. (2011) Static Calculation and Analysis of Spatial Rod System. *Inzhenerno-Stroitelny Zhurnal* [Construction-Engineering Journal], 24 (6), 28–34 (in Russian).
27. Shimanovsky V. N., Gordeev V. N., Grinberg M. L. (1987) *Optimal Design of Space Grid Roofing*. Kiev, Budivelnik Publ. 223 (in Russian).
28. Makowski Z. S. (1992) Space Frames and Trusses. *Construc-tional Steel Design. an International Guide*. London, Elsevier, 791–843.
29. Ramaswamy G. S., Eekhout M., Suresh G. R. (2002) *Analysis Design and Construction of Steel Space Frames*. London, Thomas Telford Ltd. 262. DOI: 10.1680/adacossf.30145.
30. Lan T. T., Qian R. (1986) A Study on the Optimum Design of Space Trusses–Optimal Geometrical Configuration and Selection of Type. *Shells, Membranes and Space Frames. Proc. IASS Symp.* Amsterdam, Elsevier, 191–198.
31. Chen W. F., Lui E. M. (2005) *Handbook of Structural Engineering*, Second Edition. CRC Press. 1768. DOI: 10.1201/9781420039931.
32. Inzhutov I. S., Dmitriev P. A., Deordiev S. V., Zakharyuta V. V. (2013) Analysis of Existing Interface Nodes in Space Structures and Development of Pre-Assembled and Dismountable Nodal Element. *Vestnik MGSU* [Moscow State University of Civil Engineering Bulletin], (3), 61–71 (in Russian).
33. Stephan, S., Sánchez-Alvarez J., Knebel K. (2004) Reticulated Structures on Free-Form Surface. *Stahlbau*, 73 (8), 562–572. DOI: 10.1002/stab.200490149.
34. Kaganovsky L. O. (2010) New Solutions for Nodal Connections of Rods in Structural and Single-Layer Latticed Constructions. *Zbirnik Naukovikh Prats' Ukrain's'kogo Naukovo-Doslidnogo ta Proektnogo Institutu Stalevikh Konstruktsii Imeni V. M. Shimanov's'kogo* [Collection of Research Papers of V. Shimanovsky Ukrainian Research and Design Institute of Steel Construction], (5), 192–198 (in Russian).
35. Khisamov R. I. (1981) *Calculation and Design of Space Frames*. Kiev, Budivelnik Publ. 79 (in Russian).
36. Zueva I. I., Zuev V. V. (2010) Effect of Bolt Connection Compliance on Stress-Strain Strain of Structural Constructions. *Vestnik of Perm National Research Polytechnic University. Stroitel'stvo i Arhitektura = PNRPU Construction and Architecture Bulletin*, (1), 40–46 (in Russian).
37. Zueva I. I., Ivanova S. L. (2013) Specific Features in Designing of TsNIISK-Type [Central Research Institute of Construction Structures] Structural Constructions. *Vestnik of Perm National Research Polytechnic University. Stroitel'stvo i Arhitektura = PNRPU Construction and Architecture Bulletin*, (1), 91–97 (in Russian).
38. Tur V. I., Tur A. V. (2014) Influence of Nodal Joint Compliance on Stress-Strain State of Metal Net Dome. *Fundamentalnye Issledovania = Fundamental Research*, (6), 1165–1168 (in Russian).
39. Storozhenko L. I., Gasii G. M., Gapchenko S. A. (2015) *Space Steel-Reinforced Concrete and Structural Cable Roof*. Poltava, Publishing House TOV “ASMI”. 216 (in Ukrainian).
40. Storozhenko L. I., Gasii G. M. (2016) Peculiar Features in Structural Concept and Designing of Full-Length Experimental Model of Steel-Reinforced Concrete and Structural Cable Roof. *Zbirnik Naukovikh Prats'. Seriya: Galuzeve Mashinobuduvannya, Budivnitsvo* [Collection of Research Papers. Series: Industrial Mechanical Engineering, Civil Engineering]. Poltava, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, 46 (1), 52–60 (in Ukrainian).
41. Storozhenko L. I., Gasii G. M., Gapchenko S. A. (2014) New Steel-Reinforced Concrete and Structural Cable Constructions. *Zbirnik Naukovikh Prats'. Seriya: Galuzeve Mashinobuduvannya, Budivnitsvo* [Collection of Research Papers. Series: Industrial Mechanical Engineering, Civil Engineering]. Poltava, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, 40 (1), 91–96 (in Ukrainian).
42. Gasii G. M. (2016) Fundamentals of form Making and Designing of Space Roof Made from Steel-Reinforced Concrete and Structural Cable Constructions. *Stroitel'stvo, Materialovedenie, Mashinostroyenie: Sb. Nauch. Trudov* [Civil Engineering, Material Science, Mechanical Engineering: Collection of Research Papers], (87), 48–53 (in Ukrainian).
43. Gasii G. M. (2016) Analysis of Stress-Strain State of Trapezoidal Steel Plate in Node Used for Connection of Bottom Chord Elements in Experimental Steel-Reinforced Concrete Structural Cable and Barrel Shell. *Zbirnik Naukovikh Prats' Ukrain's'koi Derzhavnoi Akademii Zaliznichnogo Transportu* [Ukrainian State University of Railway Transport Collection of Research Papers]. Kharkiv: UkrSURT, (162), 41–47 (in Ukrainian).
44. Gasii G. M. (2016) Stress-Strain State of Rectangular Steel Plate in Node Used for Connection of Rod Elements in Steel-Reinforced Concrete Structural Cable and Barrel Shell. *Visnik Odes'koi Derzhavnoi Akademii Budivnitsva ta Arhitekturi* [Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture Bulletin]. Odessa: Publishing House “Zovnishreklamservis”, (62), 215–219 (in Ukrainian).
45. Gasii G. M. (2014) Experimental Investigations on Structural and Steel Cable Roof. *Zbirnik Naukovikh Prats'. Seriya: Galuzeve Mashinobuduvannya, Budivnitsvo* [Collection of Research Papers. Series: Industrial Mechanical Engineering, Civil Engineering]. Poltava, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, 42 (3), 47–51 (in Ukrainian).

Received: 27.10.2016

Accepted: 06.01.2017

Published online: 28.11.2017

ЛИТЕРАТУРА

1. Furche, A. Tragkonstruktionen: Basiswissen für Architekten / A. Furche. Springer Vieweg, 2016. 210 p.
2. Шимановський, О. В. Особливості проектування великопрогонових просторових покриттів на основі структурних плит / О. В. Шимановський, С. М. Беспалов // Будівництво України. 2002. № 5. С. 21–24.
3. Chilton, J. Space Grid Structures / J. Chilton. Boston: Architectural Press, 2000. 180 p.
4. Канчели, Н. В. Строительные пространственные конструкции. 3-е изд., доп. и перераб. / Н. В. Канчели. М.: АСВ, 2009. 112 с.
5. Lan, T. T. Space Frame Structures / T. T. Lan. Boca Raton: CRC Press LLC, 1999. 129 p.
6. Allen, E. Fundamentals of Building Construction. Materials and Methods: 6th ed. / E. Allen, J. Iano. Wiley, 2013. 1024 p.
7. Parke, G. A. R. Space Structures 5 / G. A. R. Parke, P. Disney. London: Thomas Telford Ltd, 2002. 1613 p.
8. Лубо, Л. Н. Плиты регулярной пространственной структуры / Л. Н. Лубо, Б. А. Миронков. М.: Стройиздат, 1976. 105 с.
9. Морозов, А. П. Пространственные конструкции общественных зданий / А. П. Морозов, О. В. Василенко, Б. А. Миронков. Л.: Стройиздат, 1977. 168 с.
10. Геммерлинг, А. В. Структурные конструкции из эффективных гнутых профилей / А. В. Геммерлинг. Саарбрюкен: Lap Lambert, 2014. 137 с.
11. Мітрофанов, С. В. Робота вузлових елементів структурної конструкції / С. В. Мітрофанов // Металеві конструкції. 2012. Т. 18, № 1. С. 17–25.
12. Condit, C. W. American Building Art: the Twentieth Century / C. W. Condit. Oxford University Press, 1961. 427 p.

13. Schueller, W. Horizontal-Span Building Structures / W. Schueller. John Wiley and Sons, 1983. 594 p.
14. Edmondson, A. C. A Fuller Explanation: the Synergetic Geometry of R. Buckminster Fuller / A. C. Edmondson. Pueblo: Emergent World Press, 2007. 339 p.
15. Bai, Y. Novel Joint for Assembly of All-Composite Space Truss Structures: Conceptual Design and Preliminary Study / Y. Bai, X. Yang // Journal of Composites for Construction. 2012. Vol. 17, No 1. P. 130–138.
16. Gerrits, J. M. An Architectonic Approach of Choosing a Space Frame System / J. M. Gerrits // Lightweight Structures in Architecture, Engineering and Construction. 1998. Vol. 2. P. 992–999.
17. Makowski, Z. S. Development of Jointing Systems for Modular Prefabricated Steel Space Structures / Z. S. Makowski // Proceedings of the International Symposium. Warsaw: IASS Polish Chapter, 2002. P. 17–41.
18. Tubular Space Trusses with Simple and Reinforced End-Flattened Nodes-an Overview and Experiments / de S. A. L. Andrade [et al.] // Journal of Constructional Steel Research. 2005. Vol. 61, No 8. P. 1025–1050.
19. Yang, X. Structural Performance of a Large-Scale Space Frame Assembled Using Pultruded GFRP Composites / X. Yang, Y. Bai, F. Ding // Composite Structures. 2015. Vol. 133. P. 986–996.
20. Городецкий, А. С. Компьютерные модели конструкций / А. С. Городецкий, И. Д. Евзеров. Киев: Факт, 2005. 344 с.
21. Innovations in Design and Construction of the New Stadiums and Gymnasiums for the 2008 Beijing Olympic Games / X. Liu [et al.] // Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures. 2011. Vol. 52, No 1. P. 39–52.
22. Холопов, И. С. Применение решетчатых пространственных металлических конструкций в покрытиях машинных залов ГЭС / И. С. Холопов, М. И. Балзыанников, В. Ю. Алпатов // Вестник ВолГАСУ. Сер. Строительство и архитектура. 2012. Т. 47, № 28. С. 225–232.
23. Engel, H. Structure Systems / H. Engel. Ostfildern: Hatje Cantz, 2009. 352 p.
24. Tashakori, A. Optimum Design of Cold-Formed Steel Space Structures Using Neural Dynamics Model / A. Tashakori, H. Adeli // Journal of Constructional Steel Research. 2002. Vol. 58, No 12. P. 1545–1566.
25. Трофимов, В. И. Структурные конструкции / В. И. Трофимов, Г. Б. Бегун. М.: Стройиздат, 1972. 172 с.
26. Кирсанов, М. Н. Статический расчет и анализ пространственной стержневой системы / М. Н. Кирсанов // Инженерно-строительный журнал. 2011. Т. 24, № 6. С. 28–34.
27. Шимановский, В. Н. Оптимальное проектирование пространственных решетчатых покрытий / В. Н. Шимановский, В. Н. Гордеев, М. Л. Гринберг. Киев: Будівельник, 1987. 223 с.
28. Makowski, Z. S. Space Frames and Trusses / Z. S. Makowski // Constructional Steel Design. an International Guide. London: Elsevier, 1992. P. 791–843.
29. Ramaswamy, G. S. Analysis Design and Construction of Steel Space Frames / G. S. Ramaswamy, M. Eekhout, G. R. Suresh. London: Thomas Telford Ltd, 2002. 262 p.
30. Lan, T. T. A Study on the Optimum Design of Space Trusses-Optimal Geometrical Configuration and Selection of Type / T. T. Lan, R. Qian // Shells, Membranes and Space Frames. Proc. IASS Symp. Amsterdam: Elsevier, 1986. P. 191–198.
31. Chen, W. F. Handbook of Structural Engineering, Second ed. / W. F. Chen, E. M. Lui. CRC Press. 2005. 1768 p.
32. Анализ существующих узлов сопряжения пространственных конструкций и разработка сборно-разборного узлового элемента / И. С. Инжутов [и др.] // Вестник МГСУ. 2013. Вып. 3. С. 61–71.
33. Stephan, S. Reticulated Structures on Free-Form Surface / S. Stephan, J. Sánchez-Alvarez, K. Knebel // Stahlbau. 2004. Vol. 73, No 8. P. 562–572.
34. Кагановский, Л. О. Новые решения узловых соединений стержней структурных и однослойных решетчатых конструкций / Л. О. Кагановский // Збірник наукових праць Українського науково-дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського. 2010. № 5. С. 192–198.
35. Хисамов, Р. И. Расчет и конструирование структурных покрытий / Р. И. Хисамов. Киев: Будівельник, 1981. 79 с.
36. Зуева, И. И. Влияние податливости болтового соединения на напряженно-деформированное состояние структурных конструкций / И. И. Зуева, В. В. Зуев // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2010. № 1. С. 40–46.
37. Зуева, И. И. Особенности проектирования структурных конструкций типа «ДНИИСК» / И. И. Зуева, С. Л. Иванова // Вестник ПНИПУ: Строительство и архитектура. 2013. Вып. 1. С. 91–97.
38. Тур, В. И. Влияние податливости узловых соединений на напряженно-деформированное состояние металлического сетчатого купола / В. И. Тур, А. В. Тур // Фундаментальные исследования. 2014. № 6. С. 1165–1168.
39. Стороженко, Л. І. Просторові сталезалізобетонні структурно-вантові покриття / Л. І. Стороженко, Г. М. Гасій, С. А. Гапченко. Полтава: ТОВ «АСМІ», 2015. 216 с.
40. Стороженко, Л. І. Особливості конструктивного рішення та проектування повнорозмірного експериментального зразка структурно-вантового сталезалізобетонного покриття / Л. І. Стороженко, Г. М. Гасій // Збірник наукових праць. Сер. Галузеве машинобудування, будівництво / Полтавський національний технічний університет імя Ю. Кондратюка. Полтава: ПолтНТУ, 2016. Вип. 46, № 1. С. 52–60.
41. Стороженко, Л. І. Нові сталезалізобетонні структурно-вантові конструкції / Л. І. Стороженко, Г. М. Гасій, С. А. Гапченко // Збірник наукових праць. Сер. Галузеве машинобудування, будівництво / Полтавський національний технічний університет імя Ю. Кондратюка. Полтава: ПолтНТУ, 2014. Вип. 40, № 1. С. 91–96.
42. Гасій, Г. М. Основи формотворення і проектування просторових покриттів із структурно-вантових сталезалізобетонних конструкцій / Г. М. Гасій // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. тр. 2016. Вип. 87. С. 48–53.
43. Гасій, Г. М. Аналіз напружено-деформованого стану трапецієподібної сталевий пластини вузла з'єднання елементів нижнього пояса експериментальної структурно-вантової сталезалізобетонної циліндричної оболонки / Г. М. Гасій // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. Харків: УкрДУЗТ, 2016. Вип. 162. С. 41–47.
44. Гасій, Г. М. Напружено-деформований стан сталевий пластини прямокутної форми вузла з'єднання стрижневих елементів структурно-вантової сталезалізобетонної циліндричної оболонки / Г. М. Гасій // Вісник ОДАБА. Одеса: Зовнішнєрекламсервіс, 2016. Вип. 62. С. 215–219.
45. Гасій, Г. М. Експериментальні дослідження структурно-вантових покриттів / Г. М. Гасій // Збірник наукових праць. Серія: галузеве машинобудування, будівництво / Полтавський національний технічний університет імя Ю. Кондратюка. Полтава: ПолтНТУ, 2014. Вип. 42, № 3. С. 47–51.

Поступила 27.10.2016

Подписана в печать 06.01.2017

Опубликована онлайн 28.11.2017

DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-6-485-492

УДК 625.745; 699.8

Исследование процесса надвигки сталежелезобетонного пролетного строения больших мостов

Канд. техн. наук В. А. Гречухин¹⁾, магистр техн. наук А. Ю. Лосев²⁾¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь),²⁾ГП «Белгипродор» (Минск, Республика Беларусь)© Белорусский национальный технический университет, 2017
Belarusian National Technical University, 2017

Реферат. Мосты являются наиболее сложными, трудоемкими и дорогостоящими элементами дорожной сети Республики Беларусь. Поэтому их строительство и эксплуатация должны осуществляться на высоком технологическом уровне. Одним из современных промышленных методов является цикличная продольная надвигка больших пролетных строений, дающая возможность отказаться от дорогостоящих вспомогательных сооружений и сократить сроки строительства. В зависимости от условий судоходства и длины пролета продольную надвигку применяют в нескольких вариантах: без аванбека, с аванбеком, с «верхним» шпренгелем в виде вантовой системы, со шпренгелем, расположенным под пролетным строением. При использовании метода цикличной продольной надвигки процесс изготовления пролетного строения концентрируется на берегу. Основная задача исследования – выбор экономичного, быстрого и технологически простого вида цикличной продольной надвигки с наименьшими ресурсо- и трудозатратами. Проведено сравнение надвигки пролетного строения с использованием специально сооруженных в пролете временных опор и по капитальным опорам с помощью аванбека. Выводы, сделанные на основании расчетов конструктивных элементов металлической части пролетного строения по несущей способности сечений элементов при надвигке, а также в процессе омоноличивания железобетонной плиты и на стадии эксплуатации, показали, что монтаж пролетного строения с применением временных опор не снижает расход стали по сравнению с вариантом без них. Результаты проведенных исследований апробированы совместно с ГП «Белгипродор» при проектировании моста через р. Сож.

Ключевые слова: мосты, строительно-монтажные работы, цикличная продольная надвигка, вспомогательные сооружения, аванбек, стапель, временные опоры

Для цитирования: Гречухин, В. А. Исследование процесса надвигки сталежелезобетонного пролетного строения больших мостов / В. А. Гречухин, А. Ю. Лосев // *Наука и техника*. 2017. Т. 16, № 6. С. 485–492. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-6-485-492

Investigation of Launching Process for Steel Reinforced Concrete Framework of Large Bridges

V. A. Grechukhin¹⁾, A. Yu. Losev²⁾¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus),²⁾ State Enterprise “Belgiprodor” (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. Bridges are considered as the most complicated, labour-consuming and expensive components in roadway network of the Republic of Belarus. So their construction and operation are to be carried out at high technological level. One of the modern industrial methods is a cyclic longitudinal launching of large frameworks which provide the possibility to reject usage of expensive auxiliary facilities and reduce a construction period. There are several variants of longitudinal launching according to shipping conditions and span length: without launching girder, with launching girder, with top strut-framed beam

Адрес для переписки

Гречухин Владимир Александрович
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 150,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 268-63-03
vag_ftk@bntu.by

Address for correspondence

Grechukhin Vladimir A.
Belarusian National Technical University
150 Nezavisimosty Ave.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 268-63-03
vag_ftk@bntu.by

in the form of cable-stayed system, with strut-framed beam located under span. While using method for the cyclic longitudinal launching manufacturing process of span is concentrated on the shore. The main task of the investigations is to select economic, quick and technologically simple type of the cyclic longitudinal launching with minimum resource- and labour inputs. Span launching has been comparatively analyzed with temporary supports being specially constructed within the span and according to capital supports with the help of launching girder. Conclusions made on the basis of calculations for constructive elements of span according to bearing ability of element sections during launching and also during the process of reinforced concrete plate grouting and at the stage of operation have shown that span assembly with application of temporary supports does not reduce steel spread in comparison with the variant excluding them. Results of the conducted investigations have been approved in cooperation with state enterprise "Belgiprodor" while designing a bridge across river Sozh.

Keywords: bridges, building-and-erection works, cyclic longitudinal launching, auxiliary facilities, launching girder, building slipway, temporary supports

For citation: Grechukhin V. A., Losev A. Yu. (2017) Investigation of Launching Process for Steel Reinforced Concrete Framework of Large Bridges // *Science and Technique*. 16 (6), 485–492. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-6-485-492

Экономическое развитие Республики Беларусь напрямую связано с созданием развитой и эффективно работающей транспортной сети автомобильных и железных дорог. Мосты являются наиболее сложными, трудоемкими и дорогостоящими элементами, соответственно их строительство и эксплуатация также должны осуществляться на высоком технологическом уровне. Большие пролеты и динамические нагрузки на сооружения диктуют свои требования к их возведению. Кроме того, различный набор техники в подрядных организациях также влияет на технологию строительства мостов.

Качественное выполнение строительно-монтажных работ связано с широким применением типовых конструкций, изготовлением элементов в промышленных условиях и монтажом высокомеханизированными приемами.

Метод циклической продольной навигации (ЦПН) пролетных строений на сегодняшний день – один из наиболее востребованных при строительстве мостов с большими пролетами. При его применении обеспечивается возможность одновременного строительства опор. В результате можно отказаться от дорогостоящих вспомогательных сооружений, сократить сроки строительства и не ограничивать движение транспорта на период строительства.

Как показывает практика, в зависимости от условий судоходства и длины пролета продольная навигация может применяться в нескольких вариантах: без аванбека, с аванбеком, с «верхним» шпренгелем в виде вантовой системы, со шпренгелем, расположенным под пролетным строением. Преимуществом такой технологии является то, что пролетное строение собирается на берегу. Это значительно упрощает процесс контроля качества и позволяет организовать круглогодичный процесс производства работ.

Основная цель исследования – выбор оптимального типа циклической продольной навигации сталежелезобетонного пролетного строения больших мостов.

Задачи, поставленные в ходе исследования:

- изучение основных методов продольной навигации;
- расчет и анализ сталежелезобетонного пролетного строения на стадии навигации и эксплуатации;
- определение по результатам расчетов оптимального метода продольной навигации пролетного строения.

Результаты исследований процесса навигации сталежелезобетонного пролетного строения апробированы совместно с ГП «Белгипродор» при проектировании моста через р. Сож (расчетная схема: $69 + 84 \cdot 5 + 69 = 558$ м).

Циклическая продольная навигация используется при сооружении сталежелезобетонных пролетных строений в виде неразрезных балок, изготавливаемых секциями на стапеле на одном из берегов реки [1–11].

Особенности метода:

- навигацию производят в пониженном уровне (на уровне подферменников) до устройства шкафной стенки устоя (для обеспечения минимальной величины опускания пролетного строения после навигации);
- шкафную стенку бетонируют после навигации пролетного строения, а затем досыпают насыпь подхода;
- при навигации применяют лебедки, полиспасты, гидравлические домкраты и специальные накаточные устройства.

Продольная навигация пролетных строений производится: с использованием специально сооруженных в пролетах временных опор; по капитальным опорам; с помощью перекаточных

и плавучих опор; по сплошным подмостям (на перекаточных тележках, платформах и т. д.).

В данном исследовании проведено сравнение двух наиболее часто применяемых разновидностей надвигки пролетного строения: с использованием специально сооруженных в пролете временных опор (вариант 1) и по капитальным опорам с помощью аванбека (вариант 2).

Монтаж пролетного строения по варианту 1

На технологической площадке устраиваются перекаточные опоры. Двумя кранами РДК-25 грузоподъемностью по 25 т на сборочных клетках собирается первая секция пролетного строения длиной 58,9 м с коротким аванбеком. Выверяется строительный подъем и производится монтаж перекаточных устройств. На опоре 1 закрепляются упоры для восприятия усилий от домкратов (рис. 1). На тыльном конце первой секции крепится тяговая траверса. Производится установка трех домкратов грузоподъемностью 185 т, объединенных общим маслопроводом от насосной станции НСП-400. Домкратами грузоподъемностью 20 т пролетное строение снимается со сборочных клеток и опускается на перекаточные опоры.

В пролете 1 монтируется временная опора из инвентарных металлоконструкций МИК-С. Домкратами грузоподъемностью 185 т пролетное строение перемещается в пролет 1 на расстояние 34,5 м. Производится заклинка пролетного строения на накаточных устройствах и демонтируются тяговые устройства. На сборочных клетках ведется монтаж блоков пролетного строения 5×21 м. Положение блоков при монтаже регулируется домкратами грузоподъемностью 20 т. Затем закрепляется толкающее устройство и конец пролетного строения

раскруживается с установкой на перекаточные устройства (рис. 2).

В пролете 2 монтируется временная опора из инвентарных металлоконструкций МИК-С, пролетное строение домкратами перемещается на 42 м и заклинивается на накаточных устройствах. Демонтируются тяговые устройства, и на сборочных клетках монтируются два блока пролетного строения длиной по 21 м. Закрепляется толкающее устройство. Конец пролетного строения раскруживается с установкой на перекаточные устройства. Толкающими устройствами пролетное строение перемещается до опоры 3 и надвигается на нее после выборки прогиба консоли.

В пролете 3 устанавливается временная опора, смонтированная на платформе ПМК из инвентарных металлоконструкций МИК-П и МИК-С. Пролетное строение надвигается в пролет на расстояние 42 м до временной опоры. Производится заклинка перекаточных устройств, демонтируются тяговые устройства и монтируются четыре блока пролетного строения. Затем монтируются тяговые обустройства и удаляется заклинка перекаточных обустройств. После перемещения пролетного строения до опоры 4, выборки прогиба и надвигки пролетного строения на опору 4 производится переустройство временной опоры на платформе ПМК.

Далее монтаж пролетного строения на технологической площадке ведется секциями по четыре блока и работы по надвигке с конвейерной сборкой выполняются аналогично.

Полностью собранное пролетное строение надвигается на опору 8 и домкратами грузоподъемностью 500 т поднимается на опорные клетки. После этого временные опоры и накаточные устройства демонтируются и пролетное строение теми же домкратами опускается на опорные части.

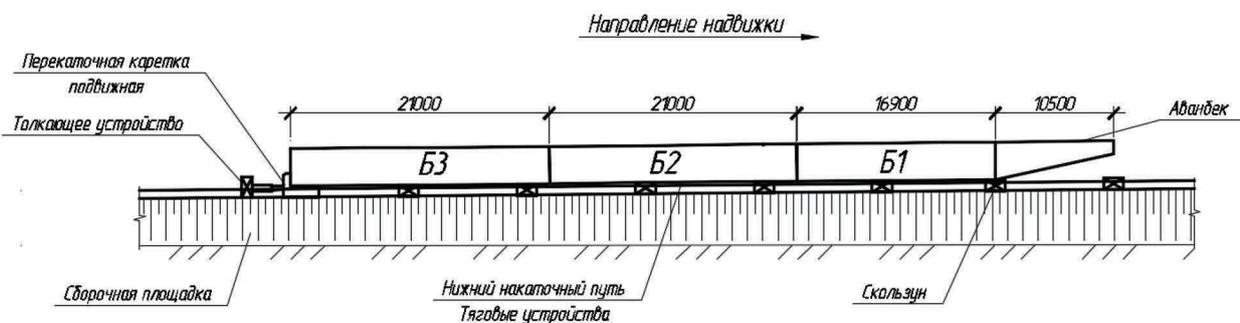


Рис. 1. Сборка первой плети пролетного строения с коротким аванбеком

Fig. 1. Assembly of 1st segment for span with short launching girder

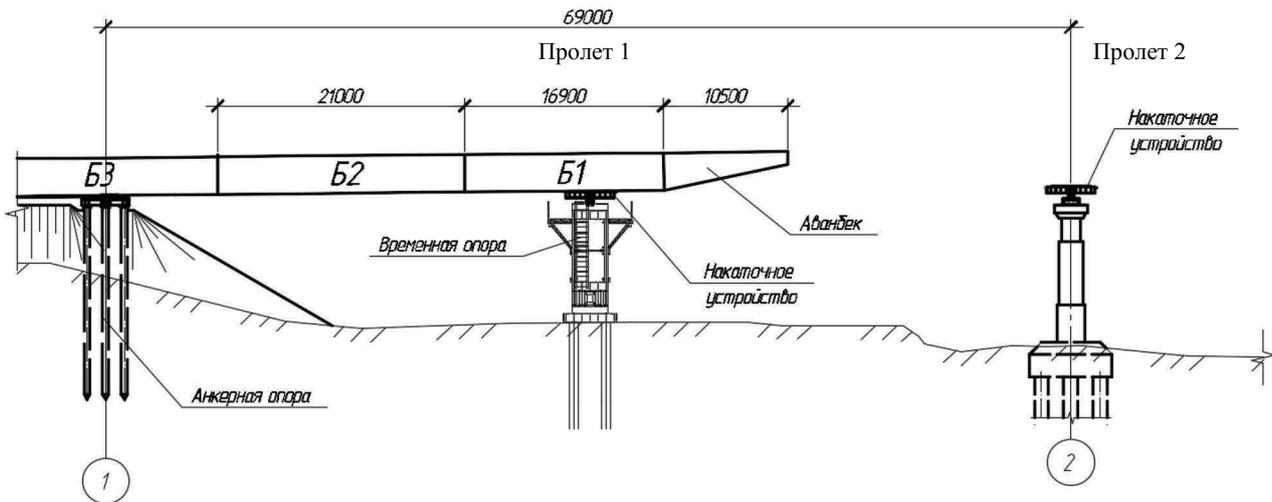


Рис. 2. Схема надвигки пролетного строения в пролете 1

Fig. 2. Scheme of launching for span in bay 1

В заключение производятся добетонирование шкафных стенок и досыпка насыпи. Укладываются плиты проезжей части моста, бетонируются стыки, устраиваются тротуары, перила и ограждение проезда.

Монтаж пролетного строения по варианту 2

На площадке для сборки и надвигки пролетного строения, расположенной на берегу, производится обустройство стапельных опор. На сборочных клетках собирается первая плеть пролетного строения с аванбеком длиной 31,5 м. Общая длина плети 90,4 м (рис. 3).

На пролетное строение навешивается толкающее устройство, на клетках выкладываются звенья тяг и устраивается их анкеровка за анкерное устройство, установленное на устое. Пролетное строение снимается со сборочных клеток и опускается на накатные устройства домкратами, которые на каждой опоре должны работать от своей насосной станции. Предварительно на крайней домкратной балке пролетного строения необходимо установить дополнительные ребра жесткости. Опускание пролетного строения на перекаточные устройства производят последовательно, начиная с опоры 1, залогами по 10 см на каждом из четырех опорных узлов домкратов.

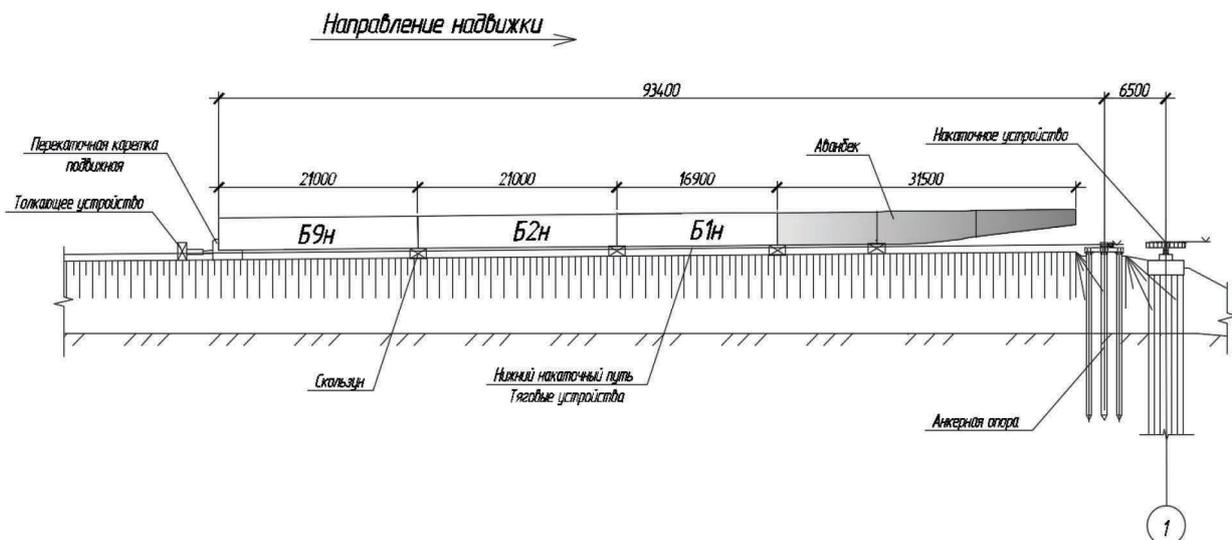


Рис. 3. Сборка пролетного строения с аванбеком на сборочных клетках

Fig. 3. Assembly of span with launching girder in assembled casings

При опускании (подъеме) пролетного строения со сборных клеток на накаточные устройства домкраты должны работать одновременно только в двух точках на одной из опор, где они установлены, опускание должно производиться равномерно без перекосов. При проведении данных операций на опорах выкладываются страховочные клетки, наращивание и разборка которых производится постепенно по мере подъема или опускания пролетного строения. Домкраты (помимо страховочных клеток) должны быть снабжены предохранительными полукольцами. При опускании (подъеме) пролетного строения превышение одного конца над другим в поперечном направлении допускается не более чем на 10 мм.

Снятие собранного пролетного строения со сборочных клеток и опускание его на накаточные устройства производится после геодезического контроля строительного подъема, установки и затяжки высокопрочных болтов во всех узлах. После установки на накаточные опоры пролетное строение выдвигается в пролет 1 на 31,5 м (свес аванбека от оси опоры 31,9 м).

После надвигки собранной секции пролетного строения в первый пролет до опоры 2 производится заклинка пролетного строения на перекаточных опорах. Толкающее устройство демонтируется. Во избежание продольного смещения пролета забиваются клинья между салазками и верхом накаточного устройства под поясом пролетного строения. Во избежание поперечного смещения пролет закрепляется в боковых упорах. Под конец надвинутой секции подводятся страховочные клетки с домкратами грузоподъемностью 100 т.

На сборочных клетках собирается вторая плеть длиной 105 м. После обеспечения угла строительного подъема между надвинутой и вновь собранной плетью (с помощью гидродомкратов) производится оформление замыкающего стыка. Затем вновь монтируется толкающее устройство и производится опускание пролетного строения на накаточные устройства. Собранные секции надвигаются в пролет 2 до достижения аванбеком опоры 3. Для въезда пролетного строения на опору производится выборка прогиба консоли надвигаемой плети и надвигка до оси опоры. По достижении аванбеком оси опоры надвигка останавливается,

домкратная штанга демонтируется. Надвигка этого этапа завершается после установки крайней домкратной балки пролетного строения на оси опоры 3. Толкающее устройство демонтируется.

Перед сборкой третьей плети производится выборка прогиба хвостовой части надвинутой плети. На сборочных клетках собирается третья плеть пролетного строения длиной 42 м. Вновь собранная плеть объединяется с ранее собранной аналогично вышеописанному.

Монтируется толкающее устройство, и пролетное строение выдвигается в пролет 3. При прохождении последних 25 м этого пролета проводятся мероприятия по ликвидации колебаний консоли, для чего на приемной опоре 4 монтируются специальные устройства, и надвигка должна производиться в течение одной смены. Демонтаж устройств для ликвидации колебаний выполняется сразу после расклинки клюва гуська на накаточных путях.

После подхода аванбека к опоре 4 устройства для ликвидации колебаний демонтируются и переносятся на следующую опору. Проводятся выборка прогиба консоли пролетного строения и надвигка последнего до установления домкратной балки на оси опоры 4. Надвигка пролетного строения продолжается до захода конца аванбека на накаточный путь. Под нижний пояс аванбека подводятся салазки для дальнейшей надвигки.

Подъем гидродомкратами производится залогами по 125 мм с установкой на домкраты страховочных колец. Демонтаж домкратной штанги производится после въезда аванбека на опору и установки его на трое салазок под каждой балкой.

Надвигка в следующие пролеты осуществляется аналогично схемам, описанным выше. После завершения этапа надвигки домкратная штанга поднимается в верхнее положение и раскрепляется временным креплением.

Для сборки седьмой, последней плети пролетного строения длиной 109 м устанавливается толкающее устройство и осуществляется надвигка. При въезде аванбека на береговую опору производится выборка прогиба консоли, монтируется арьербек и пролетное строение надвигается до захода оси крайней домкратной балки на ось опирания. Демонтируются аванбек

и аррьербек. Пролетное строение устанавливается на постоянные опорные части.

Сравнение выбранных вариантов навигации пролетного строения по расчетным характеристикам

Метод ЦПН, как правило, используют при навигации пролетов длиной 32–54 м. Его применение для более длинных пролетов нецелесообразно, так как приводит к перерасходу стали на аванбек и аррьербек. Исходя из этого при проектировании моста через р. Сож с пролетами длиной до 84 м встал вопрос целесообразности применения варианта 2 и изначально в качестве основного рассматривался вариант 1 с применением временных опор, позволяющий уменьшить длину пролетов в два раза.

Для обоснования выбора одного из двух методов монтажа проведено исследование процесса навигации пролетного строения с использованием расчетного комплекса, который основан на методе конечных элементов (FEA/МКЭ) с применением ПК MIDAS CIVIL 2015.

Выводы, сделанные на основании расчетов конструктивных элементов металлической части пролетного строения по несущей способности сечений элементов при навигации, а также в процессе омоноличивания железобетонной плиты и на стадии эксплуатации, показали, что монтаж пролетного строения по варианту 1 не снижает расход стали по сравнению с вариантом 2. Связано это с тем, что на стадии омоноличивания и эксплуатации конструктивные элементы металлического пролетного строения по принятым сечениям главных балок не обладают необходимой несущей способностью.

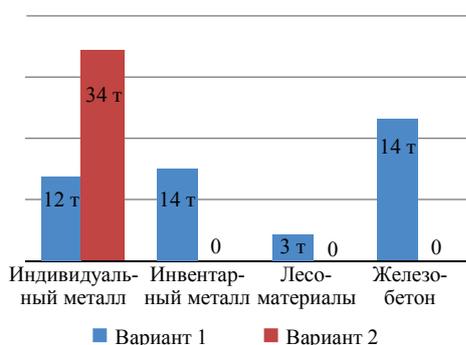


Рис. 4. Расход материалов на специальные вспомогательные сооружения и устройства

Fig. 4. Consumption of materials for special auxiliary facilities and devices

Сравнение вариантов по расходу материалов на специальные вспомогательные сооружения и устройства, трудоемкости работ и численности работающих

В связи с тем, что исследование процесса навигации пролетного строения моста через р. Сож не выявило преимуществ того или иного варианта, следующим показателем для сравнения был принят расход материалов. Согласно проведенной выборке получены такие результаты.

Вариант 1: индивидуальный металл на короткий аванбек – 12 т, инвентарный металл (МИК-С, МИК-П) – 14 т, лесоматериалы – 3 т, железобетонные сваи – 24 т.

Вариант 2: металл на аванбек – 34 т.

Из представленной выборки материалов видно, что по варианту 2 расход материалов меньше. Также стоит учесть, что на возведение и демонтаж временных опор требуются краны РДК-25, вибропогрузатель, плашкоут с краном для монтажа временной опоры в пролете 3 и квалифицированные рабочие.

По результатам сравнения по затратам материалов, трудоемкости работ и количеству рабочих предпочтение отдается варианту 2. Продольная навигация по капитальным опорам с применением аванбека позволит сэкономить 35 % стоимости материалов, 23 % заработной платы, 80 % стоимости эксплуатации машин и механизмов, 31 % затрат на транспорт. Графики расхода материалов на специальные вспомогательные сооружения и устройства и сметной стоимости при циклической продольной навигации по вариантам 1 и 2 представлены на рис. 4, 5 соответственно.



Рис. 5. Сметная стоимость циклической продольной навигации по вариантам

Fig. 5. Estimated cost of cyclic longitudinal launching according to variants

Сравнение вариантов по продолжительности монтажа пролетного строения

Главным отличием монтажа пролетного строения по вариантам 1 и 2 является то, что работы по надвигке пролетного строения с временными опорами ограничены периодами между паводками (в пролете 3 временная опора устраивается при низкой воде, а в пролетах 2, 4, 5, 6 – при значительном расчетном уровне высоких вод). В связи с этим монтаж пролетного строения по варианту 1 невозможен

в период весеннего половодья, что увеличивает сроки монтажа. Также стоит отметить, что требуется время на монтаж, демонтаж и перестановку временных опор в последующие пролеты.

В целом вариант 2 имеет меньшие трудоемкость и время монтажа пролетного строения. Исходя из календарных графиков, представленных в табл. 1, 2, монтаж пролетного строения по варианту 2 закончится на три месяца раньше, чем по варианту 1, что сократит сроки строительства моста.

Таблица 1

Календарный график по варианту 1
Schedule diagram for variant 1

| Наименование вида работ | Распределение объемов СМР по кварталам | | | | | | | | | | |
|--|--|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
| | 1-й год | | | 2-й год | | | | 3-й год | | | |
| | II кв. | III кв. | IV кв. | I кв. | II кв. | III кв. | IV кв. | I кв. | II кв. | III кв. | IV кв. |
| Сооружение нового моста на левой полосе | | | | | | | | | | | |
| Подготовительные работы | | | | | | | | — | | | — |
| Сооружение береговых опор | — | | | | — | | | | | | |
| Сооружение промежуточных опор | | | | | | | | | | | |
| Сооружение пролетного строения | | | | | | | | | | | |
| Устройство мостового полотна | | | | | | | | | | | |
| Устройство конусов и дамб | | — | | | | | | | | | — |
| Временные здания и сооружения | | | | | | | | | | | |

Таблица 2

Календарный график по варианту 2
Schedule diagram for variant 2

| Наименование вида работ | Распределение объемов СМР по кварталам | | | | | | | | | | |
|--|--|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
| | 1-й год | | | 2-й год | | | | 3-й год | | | |
| | II кв. | III кв. | IV кв. | I кв. | II кв. | III кв. | IV кв. | I кв. | II кв. | III кв. | IV кв. |
| Сооружение нового моста на левой полосе | | | | | | | | | | | |
| Подготовительные работы | | | | | | | | — | | | — |
| Сооружение береговых опор | — | | | | — | | | | | | |
| Сооружение промежуточных опор | | | | | | | | | | | |
| Сооружение пролетного строения | | | | | | | | | | | |
| Устройство мостового полотна | | | | | | | | | | | |
| Устройство конусов и дамб | | — | | | | | | | | | — |
| Временные здания и сооружения | | | | | | | | | | | |

ВЫВОДЫ

1. Создана BIM-модель моста и исследовано сталежелезобетонное пролетное строение на стадиях надвигки и эксплуатации, разработаны календарные графики.

2. Рассмотрены главные факторы и на основании расчетных характеристик, трудоемкости работ, расхода материалов на специальные вспомогательные сооружения и устройства и продолжительности строительства выбран наиболее экономичный, быстрый и менее трудоемкий вариант монтажа пролетного строения.

3. По результатам исследований, можно сделать вывод об эффективности применения метода циклической продольной надвигки сталежелезобетонного пролетного строения больших мостов на примере проектируемого моста через р. Сож на автодороге М-8.

4. Результаты исследований применены при проектировании моста через р. Сож, что позволило сократить сроки строительства, ресурсо- и трудозатраты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каньшин, Е. Строительство мостов по технологии циклической продольной надвигки. Опыт Германии / Е. Каньшин // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетр. национ. ун-та железнодорож. тр-та. 2010. № 33. С. 106–110.
2. Бычковский, Н. Н. Строительство металлических мостов: в 2 ч. / Н. Н. Бычковский, С. И. Пименов, С. К. Пшенников. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2007. Ч. 2.
3. Пестряков, А. Н. Продольная и поперечная надвигка / А. Н. Пестряков. Екатеринбург: Федеральное агентство железнодорож. тр-та, Уральский гос. ун-т путей сообщения, 2010. 29 с.
4. Курлянд, В. Г. Строительство мостов / В. Г. Курлянд, В. В. Курлянд. М.: МАДИ, 2012. 177 с.
5. Сталежелезобетонные мосты / Н. Н. Бычковский [и др.]. Саратов: Федеральное агентство по образованию, Саратов. гос. техн. ун-т, 2007. 588 с.
6. Бычковский, Н. Н. Металлические мосты: в 2 ч. / Н. Н. Бычковский, А. Ф. Данковцев. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2005. Ч. 1. 364 с.
7. Способ надвигки мостового пролетного строения: пат. № 2209872 РФ, МПК E01D21/06 / К. К. Нежданов, А. К. Нежданов, В. А. Туманов; дата публ. 10.08.2003.
8. Способ циклической продольной надвигки неразрезного железобетонного пролетного строения моста: пат. № 2242559 РФ, МПК E01D21/00 / П. П. Куракин, В. Н. Коротин, В. В. Чаленко, С. В. Дударев, А. С. Мелконян, Е. Н. Бирюков, С. В. Потапов; дата публ. 20.12.2004.
9. Захаров, Л. В. Сборные неразрезные железобетонные пролетные строения мостов / Л. В. Захаров, Н. М. Колоколов, А. Л. Цейтлин. М.: Транспорт, 1983. С. 98–107.

10. Опыт продольной надвигки неразрезных железобетонных пролетных строений / М. В. Фельдман [и др.]; под ред. Д. Я. Нагевича. М.: Оргтрансстрой, 1973. 23 с. (Экспресс-информация / Центр. ин-т нормат. исследований и науч.-техн. информации «Оргтрансстрой» М-ва трансп. стр-ва).
11. Способ перемещения строительного элемента: пат. № 1583510 СССР, МПК E04G 21/14, E01D 21/06, E01D 19/14 / Т. Д. Федорова, М. Ю. Федорова; дата публ. 07.08.1990.

Поступила 13.03.2017

Подписана в печать 24.05.2017

Опубликована онлайн 28.11.2017

REFERENCES

1. Kanshin E. (2010) Building Bridges on the Linear Technology Cyclic Sliding: the German Experience. *Nauka i Progress Transporta. Vestnik Dnepropetrovskogo Natsional'nogo Universiteta Zheleznodorozhnogo Transporta = Science and Transport Progress. Bulletin of Dnepropetrovsk National University of Railway Transport*, (33), 106–110 (in Russian).
2. Bychkovsky N. N., Pimenov S. I., Pshenichnikov S. K. (2007) *Construction of Metallic Bridges. Part 2*. Saratov, Saratov State Technical University (in Russian).
3. Pestryakov A. N. (2010) *Incremental Launching and Transversal Sliding*. Ekaterinburg, Ural State University of Railway Transport. 29 (in Russian).
4. Kurliand V. G., Kurliand V. V. (2012) *Construction of Bridges*. Moscow, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University. 177 (in Russian).
5. Bychkovskii N. N., Akatov V. P., Velichko V. P., Pimenov S. I. (2007) *Steel Reinforced Concrete Bridges*. Saratov, Saratov State Technical University. 588 (in Russian).
6. Bychkovsky N. N., Dankovtsev A. F. (2005) *Metallic Bridges. Part 1*. Saratov, Saratov State Technical University. 364 (in Russian).
7. Nezhdanov K. K., Nezhdanov A. K., Toumanov V. A. (2003) *Method for Launching of Bridge Superstructures*: Patent Russian Federation No 2209872 (in Russian).
8. Kourakin P. P., Korotin V. N., Tchalenko V. V., Doudarev S. V., Melkonyan A. S., Birioukov E. N., Potapov S. V. (2004) *Method for Cyclic Incremental Launching of Continuous Reinforced Bridge Superstructure*. Patent Russian Federation No 2242559 (in Russian).
9. Zakharov L. V., Kolokolov N. M., Tseitlin A. L. (1983) *Assembled Continuous Reinforced Bridge Superstructure*. Moscow, Transport Publ., 98–107 (in Russian).
10. Fel'dman M. V., Alekseev V. V., Yastrubinskii V. L. [et al.], Nagevich D. Ya. (ed.) (1973) *Experience in Incremental Launching of Continuous Reinforced Bridge Superstructures*. *Express-Information*. Moscow, "Orgtransstroy" Publishing House. 23 (in Russian).
11. Fedorova T. D., Fedorova M. Yu. (1990) *Method for Displacement of Construction Elements*: Patent USSR No 1583510 (in Russian).

Received: 13.03.2017

Accepted: 24.05.2017

Published online: 28.11.2017

DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-6-493-497

УДК 625.8-021.4

Определение наиболее значимых факторов при анализе эксплуатационного состояния автомобильных дорог

Инж. М. Г. Солодка¹⁾¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)© Белорусский национальный технический университет, 2017
Belarusian National Technical University, 2017

Реферат. Движение транспорта по автомобильным дорогам – процесс случайный. Поэтому уровень повреждаемости автомобилей и соответственно дорог, по которым они перемещаются, также подчиняется закономерностям случайных процессов. Динамические процессы взаимодействия автомобиля и дороги в различной степени определяются множеством факторов, к которым в том числе относятся ровность дорожных покрытий и параметры движущихся автомобилей. Поэтому была поставлена следующая задача: выявить наиболее значимые факторы и математически связать значения динамических нагрузок автомобиля с качеством дорожного покрытия и скоростью движения транспортных средств по нему. Задача в такой постановке пока не решена в достаточной степени, что и определяет актуальность и новизну исследований в данном направлении. Наиболее достоверными при решении указанной задачи являются исследования в реальных условиях на реальных объектах. Однако подготовка и проведение таких экспериментов в нужном объеме значительно затрудняют их осуществление. В связи с этим целесообразным является совмещение факторного эксперимента с испытаниями проверенной модели на ЭВМ с поэтапной фиксацией параметров рабочих процессов, проходящих в системе «автомобиль – дорога», комплексной оценкой влияния выбранных факторов и выбором их оптимального сочетания. Получена математическая зависимость для оценки влияния нескольких внешних факторов на оптимизацию динамической нагрузки автомобиля на дорогу, позволяющая получить упрощенное и адекватное описание взаимодействия элементов в системе «автомобиль – дорога». При исследовании влияния неровностей дорожного покрытия на максимальные динамические нагрузки на дорогу степень влияния выбранных факторов определена в такой последовательности: масса автомобиля, ровность покрытия и скорость движения транспортного средства.

Ключевые слова: автомобильные дороги, ровность, факторный эксперимент

Для цитирования: Солодка, М. Г. Определение наиболее значимых факторов при анализе эксплуатационного состояния автомобильных дорог / М. Г. Солодка // *Наука и техника*. 2017. Т. 16, № 6. С. 493–497. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-6-493-497

Determination of Most Significant Factors for Analysis of Highway Operating Conditions

M. G. Solodkaya¹⁾¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. Traffic circulation on highways is a random process. Therefore automotive damage rate and, respectively, roads on which they are moving is subjected to regularities of random processes. Dynamic processes of vehicle-road interaction are determined to various extents by a host of factors that include road pavement evenness and characteristics of moving vehicles. For this reason the following task has been set: to reveal the most significant factors and mathematically correlate values

Адрес для перепискиСолодка Мария Геннадьевна
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 150,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 369-93-63
pd_ftk@bntu.by**Address for correspondence**Solodkaya Mariya G.
Belarusian National Technical University
150 Nezavisimosty Ave.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 369-93-63
pd_ftk@bntu.by

of vehicle dynamic loads with a quality of road pavement and vehicle speed. Such task statement has not been solved adequately and this situation determines importance and novelty of the investigations in the given direction. While solving the mentioned task the investigations which have been carried out under real-life conditions and with the help of real-life objects are considered as the most reliable ones. However, preparation and execution of such experiments as needed significantly complicates their implementation. In this regard it looks rather expedient to combine a factorial experiment with the tests of a checked model while using ECM with stage-by-stage parameter fixation of working processes passing in "vehicle-road" system, comprehensive assessment pertaining to influence of the selected factors and selection of their optimum combination. Mathematical dependence has been obtained to evaluate influence of several external factors on optimization of vehicle dynamic load on the road. This component makes it possible to attain a simplified and adequate description of element interaction in "vehicle – road" system. While investigating influence of pavement irregularities on maximum dynamic loads on the road influence rate of the selected factors is determined in the following sequence: vehicle weight, pavement evenness and speed of transport facility

Keywords: highways, evenness, factorial experiment

For citation: Solodkaya M. G. (2017) Determination of Most Significant Factors for Analysis of Highway Operating Conditions // *Science and Technique*. 16 (6), 493–497. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-6-493-497

Введение

В процессе эксплуатации узлы и детали автомобиля подвергаются случайным воздействиям, поэтому уровень его повреждаемости зависит от множества факторов [1]. Ниже рассмотрена последовательность установления влияния эксплуатационного состояния дороги на формирование динамических нагрузок между автомобилем и неровной дорогой. Предполагается, что выбранные факторы не взаимосвязаны между собой и самостоятельно вносят свой различный вклад в уровень динамических воздействий. Если данные показатели заранее выбраны и соответствуют определенным реальным величинам, то путем проведения достаточного количества экспериментов можно выявить влияние совокупности выбранных уже управляемых факторов на исследуемый параметр оптимизации [2].

Теоретические предпосылки исследования

Случайный характер процессов, протекающих в системе «автомобиль – дорога», показывает, что их изучение должно базироваться на методах математической статистики. В технике для этого наиболее широко применяется метод планирования эксперимента (для отыскания статистических оценок коэффициентов регрессионной модели и определения оптимальных значений факторов) [3]. Для того чтобы математическая модель наиболее полно отражала связи реального объекта, количество факторов должно быть достаточным. Однако правильность решения задачи зависит также от верного

выбора влияющих факторов. Вид функции отклика зависит от сложности модели взаимодействия между факторами [4]. Для линейных моделей взаимодействие факторов не учитывается. Чем выше порядок модели, тем больше всевозможных комбинаций между факторами принимается во внимание при расчете. Для числа возможных случаев 2^k (k – число факторов) необходимо проводить такое же количество опытов, что зачастую невозможно. Упрощение основано на том, что функцию отклика можно заменить полиномом вида

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + \dots + b_nx_n, \quad (1)$$

где x_i – фактор; b_i – коэффициент регрессии.

В отличие от линейной зависимости (1), в которой функция отклика является плоскостью, нелинейность последней определяется эффектом взаимодействия факторов. При этом вычисление коэффициентов нелинейной модели аналогично вычислению коэффициентов линейной модели [3, 4].

Проведение экспериментов

Для проведения экспериментов в работе использован метод математического планирования. Разнообразие условий проведения экспериментов вызывает трудности, заключающиеся в подготовке условий проведения опытов и последующем изменении уровней. Поскольку в процессе расчетов существует вероятность возникновения систематических ошибок, появляющихся вследствие целенаправленного проведения опытов, то обычно последовательность

испытаний назначается так, чтобы она была случайной.

В качестве выходных параметров (параметров оптимизации) путем экспертного анализа выбраны следующие виды нагрузок на дорожное покрытие:

- максимальная динамическая нагрузка передней и задней осей автомобиля;
- средняя динамическая нагрузка передней и задней осей автомобиля.

Согласно применяемой математической модели (1), в качестве основных факторов использованы следующие параметры с соответствующими интервалами:

- показатель неровности дорожного покрытия IRI – от $1 \cdot 10^{-3}$ до $8 \cdot 10^{-3}$ м/км;
- скорость автомобиля v_a – от 60 до 100 км/ч;
- масса двухосного автомобиля m_a – от 1580 до 17000 кг.

Данные подготовлены для расчета воздействий с учетом реально возможных характеристик микропрофиля и параметров потока машин. Исходная программа расчета статистических оценок коэффициентов регрессии предназначалась для полного факторного эксперимента при числе факторов, равном трем.

Локальная область проведения вычислительного эксперимента устанавливалась путем определения основного уровня и интервалов варьирования (табл. 1). При выборе границ областей определения факторов учитывались их ограничения [3].

Определение наиболее значимых факторов, влияющих на динамические нагрузки

Была поставлена задача – установить значимость факторов, определяющих величину максимальных и средних динамических нагрузок, а также характер изменения динамической нагрузки автомобиля в зависимости от эксплуа-

тационного состояния автомобильной дороги (в частности, от ровности покрытий) [2]. Для этого необходимо было рассмотреть функциональную зависимость

$$P_{\max} = f(IRI, v_a, m_a). \quad (2)$$

Нормы проектирования [5] регламентируют ровность покрытия через показатель неровности дорог, поэтому его значение после окончания строительства, реконструкции или капитального ремонта должно находиться в пределах норм в зависимости от категории дороги. В расчетном анализе принята максимальная масса двухосного отечественного груженого грузового автомобиля с наименьшей колесной базой 3600 мм (МАЗ-5440Х5) [6].

Для исследований и обработки наблюдений использовали программу расчета коэффициентов регрессии к функциональной зависимости (2) для рассматриваемого случая. На основании проведенных расчетов составлена таблица полного факторного эксперимента для максимальных и средних динамических нагрузок (табл. 2). Включенные в матрицу планирования реальные показатели данных вводят для того, чтобы определить коэффициенты модели и проверить ее адекватность. Значение параметра оптимизации в некоторой точке нулевых факторов равно математическому ожиданию, оценку которого дает свободный первый член рассматриваемого уравнения. Значения коэффициентов в линейной модели показывают степень влияния каждого фактора [7, 8].

При анализе результатов эксперимента сделаны следующие допущения:

- условная дисперсия параметра оптимизации постоянна в области определения факторов;
- факторы независимы;
- значения параметров оптимизации независимы.

Таблица 1

Уровни факторов и интервалы варьирования

Factor levels and variation intervals

| Фактор, размерность | Уровень фактора | | | Интервал варьирования |
|--|-----------------|--------|-------|-----------------------|
| | -1 | 0 | +1 | |
| x_1 – показатель неровности дорожного покрытия | 0,001 | 0,0045 | 0,008 | 0,0035 |
| x_2 – скорость автомобиля, км/ч | 60 | 80 | 100 | 20 |
| x_3 – масса автомобиля, кг | 1580 | 9290 | 17000 | 7710 |

План полного факторного эксперимента
Plan of complete factorial experiment

| Показатель | | | | | | Параметр оптимизации | | | | | | | |
|--------------|-------|-------|---------------------|--------------|------------|----------------------|-----------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|----------------------|
| кодированный | | | реальный | | | Первый эксперимент | | | | Повторный эксперимент | | | |
| x_1 | x_3 | x_4 | $IRI, 10^{-3}$ м/км | v_a , км/ч | m_a , кг | $P_{max}^{пер}$, Н | $P_{max}^{задан}$, Н | $P_{ср}^{пер}$, Н | $P_{ср}^{задан}$, Н | $P_{max}^{пер}$, Н | $P_{max}^{задан}$, Н | $P_{ср}^{пер}$, Н | $P_{ср}^{задан}$, Н |
| + | + | + | 0,008 | 100 | 17000 | 86000 | 201000 | 64700 | 103000 | 128510 | 119010 | 63878 | 102780 |
| - | + | + | 0,001 | 100 | 17000 | 68700 | 121000 | 64300 | 102000 | 68749 | 106100 | 63983 | 102830 |
| + | - | + | 0,008 | 60 | 17000 | 78100 | 156000 | 64700 | 103000 | 93037 | 115060 | 64184 | 102740 |
| - | - | + | 0,001 | 60 | 17000 | 67900 | 114000 | 64300 | 103000 | 67029 | 104230 | 63926 | 102820 |
| + | + | - | 0,008 | 100 | 1580 | 15190 | 12960 | 9015 | 6758 | 12136 | 10053 | 8899 | 6603 |
| - | + | - | 0,001 | 100 | 1580 | 9879 | 7556 | 8897 | 6616 | 9285 | 6934 | 8893 | 6607 |
| - | - | - | 0,001 | 60 | 1580 | 9867 | 7930 | 8895 | 6603 | 9170 | 6883 | 8892 | 6609 |
| + | - | - | 0,008 | 60 | 1580 | 13690 | 11680 | 8968 | 6676 | 10712 | 8272 | 8895 | 6600 |

Выбор параметров оптимизации основан на поиске наиболее эффективных путей повышения качества выполняемого расчетного алгоритма. Фактически оптимизирующие расчеты могут проводиться по любому параметру, который может быть описан математическим выражением. При выполнении опытов все факторы считали условно линейными и постоянными в течение всего периода их проведения на заданном уровне. Для объективной оценки полученных результатов и значений факторов всегда рассчитывались значения ошибок моделей [9, 10].

Проанализировав коэффициенты уравнения регрессии и проверив математическую зависимость на адекватность с помощью критериев Стьюдента и Фишера, можно отметить, что на динамическую нагрузку по степени влияния выделены масса автомобиля, ровность покрытия и скорость автомобиля. С помощью этих зависимостей можно определять величину динамической нагрузки автомобиля с достаточной точностью вычислений при любом сочетании выбранных факторов [11, 12]

$$Y(P_{max}^{задан}) = 78400 + 16160x_1 + 6720x_2 + 68230x_3 + 4900x_1x_2 + 13720x_1x_3 + 6405x_2x_3. \quad (3)$$

Таким образом, при помощи полученной зависимости (3) становится весьма удобно и от-

носительно просто определять величину динамической нагрузки грузового автомобиля с требуемой погрешностью в вычислениях при любом сочетании выбранных факторов. Поскольку наибольшую нагрузку на дорожное покрытие оказывает задняя ось автомобиля, в дальнейших исследованиях использовано критическое уравнение регрессии (3) для заднего ведущего моста двухосного автомобиля.

ВЫВОДЫ

По результатам выполненных расчетов и их анализа можно сформулировать следующие выводы:

1. Использование математической зависимости (3) для оценки влияния нескольких внешних факторов на оптимизацию динамической нагрузки автомобиля на дорогу позволяет получить упрощенное и адекватное описание взаимодействия элементов в системе «автомобиль – дорога».

2. При исследовании влияния неровностей дорожного покрытия на его максимальные динамические нагрузки степень влияния выбранных факторов определена в такой последовательности: масса автомобиля, ровность покрытия и скорость движения транспортного средства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кобзарь, А. И. Прикладная математическая статистика / А. И. Кобзарь. М.: Физматлит, 2006. 816 с.
2. Львовский, Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул / Е. Н. Львовский. Минск: Вышэйш. шк., 1988. 192 с.
3. Митков, А. Л. Статистические методы в сельхозмашиностроении / А. Л. Митков, С. В. Кардашевский. М.: Машиностроение, 1978. 360 с.
4. Конопленко, Е. И. Планирование эксперимента / Е. И. Конопленко, Н. К. Хореева, А. П. Лапусь. М.: МГУПП, 2011. 46 с.
5. Автомобильные дороги. Нормы проектирования: ТКП 45-3.03-19–2006. Введ. 26.01.2006. Минск: Минстройархитектуры, 2006. 42 с.
6. Высоцкий, М. С. Автомобили: основы проектирования / М. С. Высоцкий. Минск: Вышэйш. шк., 1987. 152 с.
7. Радченко, С. Г. Устойчивое оценивание коэффициентов регрессионных моделей для нестандартных областей факторного пространства с линейными ограничениями / С. Г. Радченко // Математичні машини і системи. 2002. № 2. С. 90–96.
8. Дубров, А. М. Многомерные статистические методы для экономистов и менеджеров / А. М. Дубров, В. С. Мхитарян, Л. И. Трошин. М.: Финансы и статистика, 1998. 350 с.
9. Смородинский, С. С. Анализ и оптимизация систем на основе аналитических моделей / С. С. Смородинский, Н. В. Батин. Минск: БГУИР, 1997. 77 с.
10. Смородинский, С. С. Методы и системы принятия решений: в 2 ч. / С. С. Смородинский, Н. В. Батин. Минск: БГУИР, 2000–2001. 2 ч.
11. Каганович, В. Е. Оценка транспортно-эксплуатационных расходов на основе учета изменения скорости движения / В. Е. Каганович // Проектирование автомобильных дорог: межвузовский сб. Омск: СибАДИ, 1979. С. 4–14.
12. Исследование влияния дорожных неровностей на режим движения автомобиля с помощью электронных машин непрерывного действия / Ю. Б. Беленький [и др.] // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1965. № 10. С. 128–133.

Поступила 18.04.2017

Подписана в печать 20.06.2017

Опубликована онлайн 28.11.2017

REFERENCES

1. Kobzar A. I. (2006) *Applied Mathematical Statistics*. Moscow, Phizmatlit Publ. 816 (in Russian).
2. Lvovsky E. N. (1988) *Statistical Methods for Construction of Empirical Formula*. Minsk, Vysheyschaya Shkola Publ. 192 (in Russian).
3. Mitkov A. L., Kardashevsky S. V. (1978) *Statistical Methods for Agricultural Machinery Building*. Moscow, Mashinostroyeniye Publ. 360 (in Russian).
4. Konoplenko E. I., Khoreeva N. K., Lapus A. P. (2011) *Planning of Experiment*. Moscow, Moscow State University of Food Production. 46 (in Russian).
5. ТКП 45-3.03-19–2006. *Automobile Roads. Design Norms*. Minsk, Publishing House of Ministry of Architecture and Construction, 2006. 42 (in Russian).
6. Vysotsky M. S. (1987) *Automobiles: Fundamentals of Design*. Minsk, Vysheyschaya Shkola Publ. 152 (in Russian).
7. Radchenko S. G. (2002) Stable Estimation of Regression Model Coefficients for Non-Standard Areas of Factor Space with Linear Limitations. *Matematichni Mashini i Sistemi = Mathematical Machines and Systems*, (2), 90–96 (in Russian).
8. Dubrov A. M., Mkhitaryan V. S., Troshin L. I. (1998) *Multidimensional Statistical Methods for Economists and Managers*. Moscow, Finansy i Statistika Publ. 350 (in Russian).
9. Smorodinsky S. S., Batin N. V. (1997) *Analysis and Optimization of Systems on the Basis of Analytical Models*. Minsk, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. 77 (in Russian).
10. Smorodinsky S. S., Batin N. V. (2000–2001) *Methods and Systems for Decision Making. Part 2*. Minsk, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. (in Russian).
11. Kaganovich V. E. (1979) Evaluation of Transport and Operational Costs on the Basis of Accounting for Changes in Motion Speed. *Proektirovanie Avtomobil'nykh Dorog: Mezhhuzovskii Sbornik* [Design of Highways: Interuniversity Collection]. Omsk, Siberian Automobile and Highway Institute, 4–14 (in Russian).
12. Belen'kii Yu. B., Kovalev Ya. N., Lomako D. M., Furunzhiev R. I. (1965) Research for Influence of Road Unevenness on Vehicle Movement Regime while Using Electronic Continuous-Type Machines. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Stroitelstvo i Arkhitektura* [News of Higher Educational Institutions. Construction], (10), 128–133 (in Russian).

Received: 18.04.2017

Accepted: 20.06.2017

Published online: 28.11.2017

Пути совершенствования нормативно-правовой базы градостроительного проектирования в Иране и ее соответствие концепции устойчивого развития

Канд. арх. М. М. Каширипур¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2017

Belarusian National Technical University, 2017

Реферат. Совершенствование проектных решений в сфере градостроительного проектирования невозможно без модернизации нормативно-правовой базы в соответствии с современными требованиями, одним из которых является концепция устойчивого развития общества, принятая ООН. Научно обоснованный подход к решению проблемы совершенствования планировочной и архитектурно-пространственной структуры малых городов Ирана невозможен без учета положений концепции устойчивого развития. В 2006–2016 гг. автор участвовал в подготовке ряда проектов для городов Ирана и выявил основные проблемы, с которыми сталкиваются проектировщики, а также конечные потребители их продукции – жители городов. Сложности в разработке названных документов оказались связаны как с несовершенством законодательства в сфере их согласования и утверждения, так и с процедурой составления проектов, а также с научными обоснованиями принимаемых решений. Автор перечисляет историю законов в сфере градостроительства, а также рассматривает систему нормативных документов, регулиующую вопросы в градостроительстве Ирана, и основные уровни разработки градостроительной документации, анализирует три основных вида градостроительного проектирования в Иране (генеральный план города, гид-план, детальный план), их основной состав и соответствие современным требованиям (концепция устойчивого развития). Основные проблемы градостроительного проектирования в Иране подразделены на три этапа: разработка, согласование и утверждение. Перечислены различные проблемы в градостроительстве Ирана (недостаточная изученность процессов урбанизации, отсутствие руководящих документов национального уровня, отсутствие методов оценки и теоретических обоснований, недостаток нормативных требований) и предложены перспективные направления совершенствования нормативно-правовой базы градостроительного проектирования Ирана. Проведен анализ законодательных актов в сфере градостроительства, а также видов проектной документации, разработанной в Иране, и ее соответствия концепции устойчивого развития.

Ключевые слова: практика градостроительного проектирования в Иране, принципы устойчивого развития, закон градостроительства в Иране, система нормативных документов, генеральный план города, гид-план, детальный план города

Для цитирования: Каширипур, М. М. Пути совершенствования нормативно-правовой базы градостроительного проектирования в Иране и ее соответствие концепции устойчивого развития / М. М. Каширипур // *Наука и техника*. 2017. Т. 16, № 6. С. 498–505. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-6-498-505

Ways to Improve Normative and Regulatory Framework for Urban Planning in Iran and its Compliance with Sustainable Development Concept

M. M. Kashiripoor¹⁾

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

Abstract. Improvement of design solutions in the field of urban planning is impossible without modernization of normative and regulatory framework in accordance with modern requirements, one of which is the concept for sustainable development of the society and the concept was adopted by the United Nations. Scientifically substantiated approach to solving a problem

Адрес для переписки

Каширипур Мохаммад Махди
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 150,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 265-95-67
grado@bntu.by

Address for correspondence

Kashiripoor Mohammad M.
Belarusian National Technical University
150 Nezavisimosty Ave.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 265-95-67
grado@bntu.by

pertaining to improvement of planning and architectural-spatial structure of small cities in Iran is impossible without taking into account provisions of the sustainable development concept. In 2006–2016 the author participated in preparation of several projects for Iranian cities and revealed main problems, faced by designers and final consumers of their products – residents of cities. Difficulties in development of these documents were caused by legislation imperfection in respect of their harmonization and validation, projecting procedure and also scientific substantiations of the adopted decisions. The author presents history of legislation in urban planning sphere and also considers a system of normative and regulatory documents that regulates issues of urban planning in Iran and main levels concerning development of urban planning documentation, analyzes three main types of urban planning in Iran (city general plan, guide-plan, detailed plan), their basic structure and their compliance with modern requirements (sustainable development concept). The main urban planning documentation problems in Iran are subdivided in three stages: development, harmonization and validation. The paper enumerates various urban planning problems in Iran (insufficient information on urbanization processes, absence of national regulatory documents, absence of evaluation methods and theoretical justifications, shortage in normative requirements) and proposes prospective directions for improving normative-regulatory framework of urban planning in Iran. The author has made an analysis of legislative acts in urban planning and various types of project documentation developed in Iran and its compliance with sustainable development concept.

Keywords: urban planning practice in Iran, principles of sustainable development, urban planning law in Iran, normative documentation system, general plan of the city, guide-plan, detailed plan of the city

For citation: Kashiripoor M. M. (2017) Ways to Improve Normative and Regulatory Framework for Urban Planning in Iran and its Compliance with Sustainable Development Concept // *Science and Technique*. 16 (6), 498–505. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-6-498-505

Введение

Совершенствование архитектурно-планировочной структуры городов является одной из важнейших проблем градостроительства, развивающегося в условиях меняющегося технологического уклада, нацеленного на применение наукоемких технологий во всех сферах жизни общества. Этому способствует быстрое развитие транспорта и телекоммуникаций, которые сближают города и регионы. В условиях ускоряющихся процессов производства набирают темпы преобразования архитектурно-планировочной структуры городов. Если раньше строительные мероприятия растягивались на несколько десятилетий, то в настоящее время сроки строительства городов и их реконструкции существенно сократились. Во многих городах развитых стран западного мира (не только крупных, но и малых) начинается формирование инновационной экономики и материально-пространственной среды, которая невозможна без современных методов градостроительного проектирования, построенных на общих стандартах. С конца прошлого века большинство стран мира развивается под влиянием концепции устойчивого развития общества, которая заключается в его развитии без ущерба для будущих поколений, удовлетворении своих потребностей. В градостроительстве данная концепция воплотилась в ряде течений, объединенных идеей экоустойчивости и охраны окружающей среды.

Основная часть

Указанные тенденции градостроительного развития начинают проявляться в странах Ближнего Востока, где наблюдается быстрый рост городов, при проектировании которых применяются новейшие достижения в градостроительстве. И если крупным городам Ближнего Востока посвящены обширные исследования, то малые города региона недостаточно изучены. Вместе с тем подобный тип поселений представляет наибольший интерес с точки зрения устойчивого развития, так как в них сохраняются традиционные промыслы, приемы планировки и застройки. Большинство малых городов не испытало таких процессов, как стремительный рост населения, индустриализация, перегруженность транспортными средствами, национализация средств производства и недвижимости. Однако проблема совершенствования архитектурно-планировочной организации малых городов лежит в плоскости сохранения равновесия между сложившимися элементами планировки и застройки и инновационными подходами к их градостроительному развитию. Для решения названной проблемы необходима разработка методологического аппарата, позволяющего оценить как сложившееся состояние материально-пространственной среды города, так и проекты по ее реконструкции. Стоит отметить, что подобных разработок для малых городов не существует. Вместе с тем многие критерии и методы оценки планировки

и застройки уже разработаны для крупных городов и их планировочных элементов, но не могут использоваться без адаптации для условий конкретного региона.

Из всей общности стран Ближнего Востока наиболее характерным регионом является Исламская Республика Иран – вторая страна по площади в регионе, уступающая по этому показателю только Саудовской Аравии, но в отличие от последней в Иране ярко представлены климатические различия региона (от жаркого засушливого до влажного прикаспийского). В настоящее время в стране продолжается процесс урбанизации. Для Ирана остается актуальной проблема роста малых городов за счет миграции населения из сельской местности. Для их преобразования и развития необходимы градостроительные проекты, отвечающие требованиям устойчивого развития. В настоящее время разработка проектной документации по реконструкции малых городов осуществляется без научных обоснований. В этой связи особую актуальность приобретает научно обоснованный подход к изучению планировочной и архитектурно-пространственной структуры малых городов Ирана, предполагающий практическое применение достижений современной теории градостроительства при разработке проектной документации по их реконструкции и развитию.

Первый закон в сфере градостроительства «О строительстве, реконструкции и развитии дорог и улиц» [1] принят в Иране в 1933 г. В настоящее время основными законами, регулирующими вопросы совершенствования архитектурно-планировочной структуры городов Ирана, являются законы «О приобретении земельных участков для программ развития жилищно-городских застроек» (1960), «О создании Верховного совета по градостроительству» (1964). Последний уполномочен осуществлять поэтапный контроль и мониторинг градостроительных проектов. С середины 1960-х гг. в Иране действует единая система разработки градостроительных планов и началась работа по мониторингу городского развития, кодификации правил и норм подготовки градостроительных планов. В 1968 г. принят Закон «О модернизации и развитии городов», в котором регламентировались мероприятия по их реконструкции.

На протяжении 1970-х гг. приняты нормативно-правовые акты, обеспечивающие процедуру разработки генерального, детального и стратегического плана. С 1972 г. все полномочия по утверждению планировочной документации, а также внесению изменений в градостроительные законы находятся в ведении Верховного совета Ирана по градостроительству и архитектуре. В 1985 г. начата подготовка к строительству новых городов в составе крупных городских агломераций, а в 1987 г. принят Закон «О правилах землепользования в городах», в котором уточнялись требования к их планировке и застройке. На развитие малых городов Ирана существенно повлияла стратегическая программа развития страны до 2021 г., принятая в 1994 г., а также Закон «О городском самоуправлении» (1997), позволивший администрациям городов принимать участие в планировании их развития [2–4].

Система нормативных документов, регулирующая вопросы градостроительства, подобная техническим кодексам установившейся практики (ТКП), принятым в Республике Беларусь, или санитарным нормам и правилам (СНиП), действующим в Российской Федерации, до настоящего времени в Иране не разработана. Однако в стране издана так называемая «Зеленая книга» – двенадцатитомник, в котором собраны рекомендации по отдельным аспектам градостроительного развития, таким как землепользование города, городской транспорт, проектная документация и т. д. Вместе с тем рекомендации, собранные в «Зеленой книге», зачастую являются устаревшими, поскольку не учитывают современные тенденции в сфере градостроительства и отстают от практики разработки проектной документации. Преобразование и развитие городов в Иране осуществляется в соответствии с градостроительными проектами, разрабатываемыми согласно стратегиям городского развития и совершенствования территориальной организации страны. Для того чтобы не повторять градостроительных ошибок прошлого, в Иране используется опыт западных стран по составлению градостроительной проектной документации [5]. Основные уровни разработки градостроительной документации в Иране [6] представлены в табл. 1.

Процедура разработки градостроительной документации в Иране
Procedure for development of urban planning documentation in Iran

| Уровень | Вид документа и законодательный акт |
|--------------|---|
| Национальный | Пятилетние планы экономического, социального и культурного развития Ирана |
| | Национальный опорный план |
| | План подготовки земельных участков |
| | Законы, принятые Парламентом, Советом министров и руководящими органами страны, одобренные Верховным советом по градостроительству и архитектуре |
| | Нормативные документы, регламентирующие разработку генеральных планов городов, сельскохозяйственных генеральных планов, генеральных планов аэропортов, портов и т. п. |
| Региональный | Региональные планы (с 1993 г.) |
| Зональный | Генеральный план города и зональный план (с 1991 г.) |
| | Муниципальная схема для крупных городов |
| Местный | Генеральные планы малых городов |
| | Генеральные планы новых городов |
| | Детальный план части города для крупных и средних городов |
| | Гид-планы для городов с населением до 35 тыс. чел. |
| | Гид-планы для сельских районов |
| | План реконструкции и регенерации сложившихся частей города, план освоения новых территорий, специальный план, план застройки жилых комплексов и план застройки промышленных зон |

Согласно п. 4 Закона административно-территориального деления Ирана, городом считается населенный пункт с юридическими границами и конкретной географической расположением, жители которого заняты в промышленности, торговле, сфере услуг и на государственной службе. Если раньше (60 лет тому назад) городами считались поселения с 5000 жителей, то в настоящее время численность населения города должна быть не менее 10000 человек [7]. Как правило, в градостроительном законодательстве город рассматривается как центр системы расселения, объединенной социальными, экономическими и культурными связями. Малыми городами, которых в стране насчитывается около 1200, считаются поселения с населением от 10000 до 50000 человек [3, 4, 8, 9]. Но старые города с численностью населения менее 10000 чел. остаются городами. Основными планировочными документами, регулирующими развитие малого города, являются генеральный план города, гид-план и детальный план части города [5].

Генеральный план – основной документ, определяющий направления развития города, а также своевременного удовлетворения город-

ских нужд в рамках генерального плана региона и на основе прогнозов на 15–20 лет. В генеральном плане города решаются следующие задачи:

- определение характера землепользования (функциональное зонирование);
- реконструкция и развитие планировочного каркаса (транспортная инфраструктура);
- отвод земли для строительства жилых, промышленных, коммерческих, административных, сельскохозяйственных объектов и сооружений, инженерной инфраструктуры, транспортных сооружений;
- определение инженерных объектов и застройки, нуждающихся в реконструкции;
- сохранение природных ландшафтов, зданий и сооружений, имеющих историко-культурную ценность.

Проектирование генплана заказывается Министерством по жилищным вопросам и градостроительству и окончательно утверждается Верховным советом по вопросам архитектуры и градостроительства Ирана. Это долгосрочный документ, в котором предусматривается отвод земли для строительства жилых, промышленных, коммерческих, административных, сель-

скохозйственных объектов и сооружений, инженерной инфраструктуры, транспортных сооружений и т. д., с учетом приоритетности определяются объекты и кварталы, нуждающиеся в улучшении или восстановлении. Генплан как юридический документ содержит в себе и вопросы сохранения природных ландшафтов, объектов и зданий, имеющих культурно-историческую ценность. При необходимости он корректируется.

Генеральный план – документ, который определяет общие принципы городской политики. Комплексная методология разработки генплана города включает в себя: изучение сложившегося состояния городских территорий; анализ планировочной структуры; постановку целей и приоритетов развития города; технико-экономические обоснования; градостроительные планы и предлагаемые программы; план реализации [4, 6].

Генплан отражает общую стратегию развития территории города и разрабатывается в масштабе 1:10000 или 1:5000. Он определяет характер землепользования (функциональные зоны), реконструкцию и развитие планировочного каркаса (транспортных коммуникаций).

Гид-план составляется для малых городов, не имеющих генерального плана (с численностью населения до 15000 человек), и представляет собой его сокращенную версию. В гид-плане определяются:

- границы перспективного развития города;
- характер землепользования для решения неотложных проблем в краткосрочной перспективе [5, 10].

Детальный план части города разрабатывается для развития основных положений генерального плана, конкретизации его предложений на 15–20-летний срок и может быть пересмотрен через три года. Как правило, для малых городов он совмещается с генеральным. В детальном плане города:

- находят развитие основные положения и принципы генерального плана;
- устанавливаются красные линии улиц;
- определяются приоритетности реконструкции городских объектов;
- производится деление территории города на участки с различным целевым назначением и правовым режимом;

– определяются технико-геодезические параметры инженерно-транспортных коммуникаций и пешеходных путей;

– устанавливаются плотностные характеристики застройки в каждом районе города.

Кроме этого, детальный план является информационной базой для государственного кадастрового учета [3, 5, 11].

Утверждение детального плана возложено на Комиссию Верховного совета по вопросам архитектуры и градостроительства. Штаб-квартира комиссии находится в Главном управлении по жилищным вопросам и градостроительству и ее председателем является губернатор. Комитет по техническим вопросам в совещательных собраниях рассматривает проект детального плана и в случае его одобрения проект передается для утверждения. Комиссия после тщательного изучения и рассмотрения проекта детального плана его утверждает. Кроме этого, комиссия вправе с учетом основных положений генплана внести в детальный план некоторые изменения (параметры плотности застройки, назначение городских земель и т. п.). Однако любые изменения, влияющие на основные положения генплана, должны быть утверждены Верховным советом по жилищным вопросам и градостроительству.

После утверждения детальный план передается муниципальной власти для реализации. Срок реализации детальных планов в Иране – пять лет. Тем не менее после трех лет со дня утверждения допускается его пересмотр. В каждой провинции существует главное управление по жилищным вопросам и градостроительству, которое осуществляет надзор над реализацией детального плана муниципальной властью.

Анализ документов, регламентирующих разработку градостроительных проектов, выявил недостаточное внимание к вопросам устойчивого развития. В стране отсутствуют государственные научно-проектные организации градостроительного профиля, разработкой проектной документации занимаются частные компании. Этим объясняется отсутствие единой методики и принципов проектирования, отвечающих современным мировым представлениям и основанных на сборе комплексных данных об архитектурно-планировочной структуре города. Так, разные проектные организа-

ции используют отличающиеся методики анализа города, не позволяющие сравнивать проектные решения и оценивать их эффективность.

Градостроительные проекты, которые разрабатываются для малых городов, можно разделить на три типа: документы общего, специального и детального планирования. Подобная классификация принята и в Республике Беларусь. К градостроительным проектам общего планирования относятся генеральный план города и гид-план. Документы детального планирования включают детальный план и позиционный детальный план. План реконструкции и регенерации сложившихся частей города, план освоения новых территорий, тематический план, план застройки жилых комплексов и план застройки промышленных зон относятся к документам специального планирования.

Непосредственное участие автора в составлении ряда градостроительных проектов позволило выявить основные проблемы их разработки, согласования и утверждения (г. Комшече (2006), г. Барзок (2008), г. Гадерабад (2009), г. Даварзан (2015), г. Джошаган (2013), г. Кушк (2014), г. Мехран (2010), г. Мешкат (2012), г. Нокандех (2015), г. Рудбар (2009), г. Хаф (2007)).

Первая группа вопросов связана с низким качеством проектных работ. Это в некоторых случаях обусловлено тем, что градостроительные проекты могут выполнять фирмы, не имеющие сотрудников со специальной подготовкой. Зачастую в проектах не учитываются современные тенденции в области градостроительства, опускаются вопросы, связанные с охраной памятников истории и архитектуры, эстетикой города.

Вторая группа вопросов – процедура рассмотрения и утверждения проектов. Комиссия по вопросам архитектуры и градостроительства утверждает детальные планы городов, что ведет к затягиванию сроков согласования. Также, в отличие от европейских стран, в Иране отсутствует практика общественного обсуждения проектов, жители не имеют возможности участвовать в их подготовке. В результате многие проектные решения не реализуются.

Третья группа вопросов связана с отсутствием научных основ градостроительного развития малых городов. Исследования по сопоставлению планировочных структур городов

не проводились, не выявлены закономерности их территориального развития под воздействием социально-экономических факторов. Если вопросы планировки и застройки крупных городов Ирана (Тегерана, Исфахана и др.) освещены в литературе, то градостроительные проблемы малых городов практически не исследовались.

Совершенствование градостроительных проектов для городов Ирана связано с решением кадровых вопросов, оптимизацией согласования и утверждения проектной документации, разработкой теоретических основ планировки и застройки.

Сложности при подготовке градостроительной документации для городов во многом объясняются недостаточной изученностью процессов урбанизации, трансформации планировочной структуры городов Ирана. Необходимо решить следующие задачи:

- разработать типологию планировочных структур городов;
- выявить ключевые этапы их развития, обусловленные изменениями, произошедшими в сфере развития транспорта, экономического уклада, политической жизни;
- установить закономерности трансформации планировочной структуры городов.

По нашему мнению, именно анализ особенностей планировочной структуры городов является основой для совершенствования проектной градостроительной документации, так как может предоставить градостроителям систематизированные данные об объекте проектирования, с которыми могут работать специалисты с разным уровнем образования, что в конечном итоге будет способствовать принятию обоснованных проектных решений.

В градостроительстве Ирана нет руководящих документов национального уровня, содержащих основные направления развития городских поселений. Разработка проектной документации по реконструкции малых городов осуществляется частными компаниями с весьма неоднородным кадровым составом, в котором могут отсутствовать специалисты в сфере градостроительства. При этом уровень знаний даже дипломированных архитекторов в области новейших тенденций градостроительства недостаточно высок в силу отсутствия системы переподготовки кадров.

В сложившейся практике преобладают аналитические методы анализа и не используются методы оценки, основанные на количественных показателях. Многие современные методики оценки позволяют произвести сравнение на основе общих индикаторов (LEED-ND (США), BREEAM Communities (Великобритания), CAS-BEE-City (Япония) и т. д.), отражающих соответствие различных аспектов городской структуры принципам устойчивого развития, однако в Иране такие работы не проводятся.

В нормативных документах нет понятия компактности плана города, оценки развитости уличной сети, разнообразия застройки и планировочной структуры города. В них отсутствуют требования к открытым урбанизированным пространствам города, которые не являются предметом анализа на уровне генерального плана города и гид-плана. На уровне детального плана открытые общественные пространства (улицы и площади) рассматриваются только в рамках проектирования структуры уличной сети, при этом оценка их не производится.

Несмотря на наличие в нормативах требований к минимальному обеспечению жителей зелеными насаждениями, отсутствуют рекомендации по рациональным способам их планировочной организации, основанным на формировании взаимосвязанной системы озелененных открытых рекреационных пространств, доступных всем жителям города.

Работа над градостроительными проектами малых городов показала, что недостаточно внимания уделяется такому их качеству, как своеобразие традиционной исторической городской планировки и застройки, которое недооценивается проектировщиками в силу отсутствия научных методик анализа и оценки.

К недостаткам существующей системы проектирования следует отнести:

- недостаточный учет специфики архитектурно-планировочной организации городов;
- отсутствие единой концепции развития архитектурно-планировочной структуры городов в соответствии с принципами устойчивого развития;
- неразработанность критериев оценки архитектурно-планировочной структуры городов;
- отсутствие стандартизованных методик анализа планировки и застройки городов.

Следует отметить тот факт, что недостаточная степень разработанности вопроса совершенствования архитектурно-планировочной структуры городов в нормативно-правовых документах во многом обусловлена отсутствием теоретических обоснований. Так, в научной литературе отсутствуют систематизированные данные об особенностях архитектурно-планировочной структуры малых городов (типах планировочных образований, открытых пространств, застроек, характеристике функциональных зон и их взаимном расположении), а также не систематизированы факторы, влияющие на их формирование.

Для современного состояния иранской градостроительной науки характерна синкретичность рассмотрения проблематики преобразования и развития городов и их частей, которая проявляется в преобладании работ информационно-просветительского характера. Они носят познавательный-теоретический характер и не имеют практического значения по причине крайне широкой трактовки объекта и предмета исследования (одновременно рассматриваются города различной величины, эпохи). Вместе с тем в этих исследованиях содержится значительный материал по истории развития городов, их архитектурно-планировочной организации.

ВЫВОДЫ

1. К основным проблемам градостроительного проектирования в Иране следует отнести:

- недостаточное внимание, уделяемое вопросам устойчивого развития в действующих документах, регламентирующих разработку градостроительных проектов;
- отсутствие единой системы регулирующих нормативных документов, аналогичной техническим кодексам установившейся практики в Республике Беларусь или строительным нормам и правилам в Российской Федерации;
- наличие большого числа устаревших рекомендаций в действующих разрозненных нормативных документах;
- отсутствие единой методики и принципов проектирования, отвечающих современным мировым представлениям и основанных на сборе комплексных данных об архитектурно-планировочной структуре города;

– разработку проектной документации по городам частными компаниями с весьма неоднородным кадровым составом, в котором могут отсутствовать специалисты в сфере градостроительства;

– отсутствие рекомендаций по рациональным способам планировочной организации городов, основанных на формировании взаимосвязанной системы озелененных открытых рекреационных пространств, доступных всем жителям города;

– отсутствие требований к открытым урбанизированным пространствам города, которые не являются предметом анализа на уровне генерального плана города и гид-плана.

2. Перспективными направлениями совершенствования нормативно-правовой базы градостроительного проектирования следует считать:

– разработку концепции устойчивого развития городов Ирана и принципов ее совершенствования;

– формирование системы индикаторов устойчивого развития городов;

– разработку методики предпроектных исследований городов.

Это способствует обоснованному принятию решений по их преобразованию в ходе разработки градостроительных документов.

ЛИТЕРАТУРА

1. A Critique of the Prevailing Comprehensive Urban Planning Paradigm in Iran: the Need for Strategic Planning / Farhoodi Rahmatoallah [et al.] // *Planning Theory*. Iran, Tehran. 2009. Vol. 8, No 4. P. 335–361.
2. Кешмири, Х. Особенности градостроительной регламентации при проектировании городских районов Ирана на примере г. Шираз / Х. Кешмири. М., 2009. 135 с.
3. Saeidnia, A. Urban Development Plans: Problems and Strategies / A. Saeidnia // *Shahrdariha Journal*. 1999. No 8. P. 6–10.
4. Saeidnia, A. Urban Design in Iran / A. Saeidnia // *The Municipalities Organization and Village Management Council of Country*. Iran: Tehran, 2004. 129 p.
5. Каширипур, М. М. Особенности разработки градостроительных проектов для малых городов Ирана / М. М. Каширипур // *Архитектура: сб. науч. трудов*. Минск: БНТУ, 2014. Вып. 7. P. 116–122.
6. Majd, M. G. Land Reform Policies in Iran / M. G. Majd // *American Journal of Agricultural Economics*. 1987. Vol. 69, No 4. P. 843–848.
7. Kheirabadi, M. Iranian Cities / M. Kheirabadi, X. Hataminezhad, E. Mafi. Iran: Mashhad, 2000. 159 p.

8. Ghamami, M. Summary of Urban Master Plans Issues / M. Ghamami // *Abadi Magazine*. Iran, Tehran. 1999. Vol. 18. P. 30–42.
9. Mahlabani, Y. G. Sustainable Architecture and its Criticism in Domain of Environment / Y. G. Mahlabani // *Scientific-Research Publication of Scientific, Architecture and Urban Construction Forum of Iran*. 2011. No 1. P. 91–100.
10. Saeidnia, A. Urban Land Use / A. Saeidnia // *The Municipalities Organization and Village Management Council of Country*. Iran: Tehran, 2003. 105 p.
11. Каширипур, М. М. Анализ планировочной структуры малых городов Ирана / М. М. Каширипур // *Наука и техника*. 2014. № 5. С. 85–91.

Поступила 04.07.2017

Подписана в печать 15.09.2017

Опубликована онлайн 28.11.2017

REFERENCES

1. Rahmatoallah Farhoodi, Mehdi Gharakhlou-N, Mostafa Ghadami, Musa Panahandeh Khah (2009) A Critique of the Prevailing Comprehensive Urban Planning Paradigm in Iran: the Need for Strategic Planning. *Planning Theory*, 8 (4), 335–361. DOI: 10.1177/1473095209341328.
2. Keshmiri H. (2009) *Peculiar Features in Urban Planning Regulations while Designing Urban Regions of Iran Through the Example of Shiraz*. Moscow. 135 (in Russian).
3. Saeidnia A. (1999) Urban Development Plans: Problems and Strategies. *Shahrdariha Journal*, (8), 6–10.
4. Saeidnia A. (2004) Urban Design in Iran. *The Municipalities Organization and Village Management Council of Country*. Iran, Tehran. 129.
5. Kashiripoor M. M. (2014) Peculiar Features in Development of Urban Planning Projects for Small Towns in Iran. *Arkhitektura: Sbornik Nauchnykh Trudov* [Architecture. Collection of Scientific Papers]. Minsk, Belarusian National Technical University, Is. 7, 116–122 (in Russian).
6. Majd M. G. (1987) Land Reform Policies in Iran. *American Journal of Agricultural Economics*, 69 (4), 843–848. DOI: 10.2307/1242196.
7. Kheirabadi M., Hataminezhad X., Mafi E. (2000) *Iranian Cities*. Iran, Mashhad. 159.
8. Ghamami M. (1999) Summary of Urban Master Plans Issues. *Abadi Magazine*, 18, 30–42.
9. Mahlabani Y. G. (2011) Sustainable Architecture and its Criticism in Domain of Environment. *Scientific-Research Publication of Scientific, Architecture and Urban Construction Forum of Iran*, (1), 91–100.
10. Saeidnia A. (2003) Urban Land Use. *The Municipalities Organization and Village Management Council of Country*. Iran, Tehran. 105.
11. Kashiripoor M. M. (2014) Planning Structure Analysis of Small Towns in Iran. *Nauka i Tekhnika = Science & Technique*, (5), 85–91 (in Russian).

Received: 04.07.2017

Accepted: 15.09.2017

Published online: 28.11.2017

DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-6-506-514

УДК 656.029.4

Логистическая деятельность в Беларуси: тенденции и проблемы

Магистр экон. наук П. В. Божанов¹⁾

¹⁾РУП «Белорусский научно-исследовательский институт транспорта «Транстехника»
(Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2017
Belarusian National Technical University, 2017

Реферат. В статье представлены основные результаты исследования логистической деятельности в Республике Беларусь по итогам 2016 г. Определены и проанализированы базовые составляющие этой деятельности на основе экономической оценки показателей ежегодной государственной статистической отчетности о логистической и транспортно-экспедиционной деятельности организаций республики по форме 1-логистика (Минтранс), отчета Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь о результатах реализации Республиканской программы развития логистической системы и транзитного потенциала Республики Беларусь на 2016–2020 гг., отчетов Всемирного банка об индексе эффективности логистики, отдельных показателей состояния логистической инфраструктуры, а также результатов электронного анкетирования крупнейших логистических центров страны. В ходе исследования применялись методы сравнительного анализа, обобщения и экономического анализа. Анализ показал, что в Беларуси функционирует сеть логистических центров различной специализации и разных форм собственности, расположенных во всех областях республики. Наибольшее их количество находится в Минской области вблизи II и IX трансъевропейских транспортных коридоров и в Брестской области вблизи границы с Польшей. В структуре логистических центров имеются в наличии склады временного хранения, таможенные склады, склады общего пользования, контейнерные терминалы, автомобильные стоянки, пункты таможенного оформления, а также автомобильные, железнодорожные и прочие грузовые транспортные средства. Показатели логистической деятельности в республике свидетельствуют о ее развитии в 2016 г. Возросли складская площадь логистических центров и основные финансовые и объемные показатели логистической деятельности, учитываемые государственной статистической отчетностью. Данные факты свидетельствуют о востребованности логистического потенциала Республики Беларусь и его эффективном экономическом и инфраструктурном развитии.

Ключевые слова: анкетирование, груз, законодательство, индекс, инфраструктура, логистика, показатели, программа, регулирование, рынок, система, склад, транспорт, услуги, эффективность

Для цитирования: Божанов, П. В. Логистическая деятельность в Беларуси: тенденции и проблемы / П. В. Божанов // *Наука и техника*. 2017. Т. 16, № 6. С. 506–514. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-6-506-514

Logistics Activities in Belarus: Tendencies and Problems

P. V. Bozhanov¹⁾

¹⁾Republican Unitary Enterprise, Belarusian Research Institute of Transport “Transtekhnika”
(Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. Main results of investigations on logistics activities in the Republic of Belarus at year-end 2016 are presented in the paper. The paper identifies and analyzes basic components of this activity on the basis of economic evaluation of indices presented in annual State statistical reporting on logistics and transport and freight forwarding activities of the Republican

Адрес для переписки

Божанов Павел Владимирович
РУП «Белорусский научно-исследовательский институт транспорта «Транстехника»
ул. Платонова, 22,
220005, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 290-42-47
bozhanov@tut.by

Address for correspondence

Bozhanov Pavel V.
Republican Unitary Enterprise, Belarusian Research Institute of Transport “Transtekhnika”
22 Platonova str.,
220005, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 290-42-47
bozhanov@tut.by

organizations according to form 1-logistics (Mintrans – Ministry of Transport and Communications of the Republic of Belarus), a report of the Ministry of Transport and Communications of the Republic of Belarus on the results of the implementation of Republican Program for development of logistics systems and transit potential of the Republic of Belarus for the period of 2016–2020, World Bank reports on logistics performance index, some indices of logistics infrastructure position and also results of electronic questionnaire of the largest logistics centers of the Republic of Belarus. Methods of comparative analysis, generalization and economic analysis have been used in the process of research. The analysis has shown that a network of logistics centers with various specialization and forms of property are located and operating in all regions of the Republic of Belarus. Most of them are situated in the Minsk region near the II and IX trans-European transport corridors and in the Brest region near the border with Poland. Structure of the logistics centers includes temporary storage warehouses, customs warehouses, warehouses for general use, container terminals, car parking, customs clearance office, and automotive, railway and other cargo transport facilities. Indices of logistics activity in the Republic of Belarus demonstrate its development in 2016. Storage space of logistics centers and main financial and volumetric indices of logistics activity which are included in the State statistical reporting have been increased during in recent times. These facts testify to the demand for logistics capacity of the Republic of Belarus and its efficient economic and infrastructure development.

Keywords: questionnaire, cargo, legislation, index, infrastructure, logistics, indices, program, regulation, market, system, warehouse, transport, services, efficiency

For citation: Bozhanov P. V. (2017) Logistics Activities in Belarus: Tendencies and Problems // *Science and Technique*. 16 (6), 506–514. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-6-506-514

Введение

Интеграционные процессы, происходящие в рамках ЕАЭС, стимулируют развитие внешней торговли стран-участниц и, как следствие, логистической деятельности в Беларуси, а благоприятное географическое расположение республики позволяет ей быть «евроазиатской Панамой». Это обуславливает привлечение внимания государства к данной области деятельности. Развитие национальной логистической деятельности связано с реализацией двух государственных программных документов на 2009–2015 и 2016–2020 гг.

Условное начало логистике в Беларуси положено в 2003 г., когда первые логистические структуры, соответствующие международным стандартам в некоторой степени, появились на базе государственных предприятий «Белмагистральавтотранс» и «Брестгрузавтосервис». В то время белорусский рынок логистики характеризовался как гетерогенный, поскольку на нем не было явных лидеров, а работало множество мелких и средних фирм, использующих устаревшую технику. Эти фирмы не вкладывали инвестиции в улучшение качества услуг и сервиса [1, с. 477].

Внедрение логистики на государственном уровне началось в 2008 г., когда Правительство утвердило Программу развития логистической системы Республики Беларусь на период до 2015 г. Ее цель – создание эффективной логистической сети международного уровня с интеграцией в логистическую систему Европы. Для этого в данной программе изначально предусматривалось выделение 50 земельных участков под строительство логистических

центров различной функциональности, затем их количество уменьшилось до 36. Однако к концу 2015 г. в рамках названной программы были открыты только 20 логистических центров, объем их складских площадей класса А составил 276,1 тыс. кв. м, класса В – 122,9 тыс. кв. м. В строительство логистических центров привлечено более 4,6 трлн руб. [2, с. 10]. Большинство логистических центров построены за счет иностранных и национальных частных инвестиций, восемь являются государственными или с долей государства в уставном капитале. Подъездные пути для обслуживания автомобильного и железнодорожного транспорта имеют восемь логистических центров, остальные работают с автотранспортом, три логистических центра располагают биржевыми складами [3, с. 4]. Логистические центры в основном расположены вблизи основных транспортных маршрутов, проходящих по территории республики.

Для последовательного продолжения реализации государственной поддержки развития логистики Правительством в 2016 г. утверждена Республиканская программа развития логистической системы и транзитного потенциала на 2016–2020 гг., которой предусмотрены показатели развития логистической деятельности, не применявшиеся в предыдущей программе. Так, запланировано достижение к 2020 г. следующих целевых показателей: рост объема логистических услуг в 1,5 раза, увеличение общей складской площади логистических центров в 1,64 раза, рост доходов от транзита, которые включают доходы от транзита нефти, природного газа и транзита в сфере транспорта, за исключением трубопроводного транспорта,

до 1525,1 млн дол. США. Для достижения названных показателей предусмотрены мероприятия, сгруппированные в рамках трех приоритетных задач программы: повышение качества и комплексности оказания логистических услуг; обеспечение развития логистической инфраструктуры и повышение эффективности ее использования; совершенствование правовых и экономических условий для эффективного использования транзитного потенциала.

В период глобальной экономической нестабильности особенно важным становится процесс совершенствования условий ведения деятельности по обеспечению товародвижения на национальном и международном уровнях, что особенно актуально для нашей республики, учитывая ее транзитный, промышленный и инфраструктурный потенциал. В связи с этим необходимо иметь объективную оценку состояния логистической деятельности.

Для проведения анализа определены основные составляющие названной деятельности, которые взяты из государственной статистической отчетности по форме 1-логистика (Минтранс), изучены отчеты Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь о ходе реализации Республиканской программы развития логистической системы и транзитного потенциала Республики Беларусь на 2016–2020 гг. и Всемирного банка об индексе эффективности логистики, а также использованы результаты электронного анкетирования крупнейших национальных логистических центров, проведенного Белорусским научно-исследовательским институтом транспорта «Транстехника» в 2016 г.

Особенности национального рынка логистических услуг

Эволюция логистических систем за рубежом доказывает, что они становятся одним из

важнейших стратегических инструментов в конкурентной борьбе не только для отдельных организаций, но и для страны в целом. В Беларуси сформировались несколько другие условия – в силу объективных причин исторического, политического, экономического характера существует отставание в области логистики. Это происходит из-за характерности развития самих логистических систем, определенных целым рядом причин [4, с. 37].

Структура национального логистического рынка значительно отличается от структуры мирового рынка, что во многом определяется низким уровнем развития логистического сегмента. Доля логистических услуг в нашей стране составляет около 17 % объема рынка, в то время как в мире – 52 %. Доминирующим сегментом этого рынка остаются грузовые перевозки (их доля превышает 80 %) [5, с. 172]. При этом следует иметь в виду, что в республике логистические услуги не выделены как экономический вид деятельности, в связи с чем возникают сложности при расчете доходов от оказания таких услуг.

Резкий рост количества логистических центров в нашей стране, который во многом объяснялся низкой стартовой базой, сменился периодом качественного развития. Именно качественными изменениями в прежних количественных границах логистика отвечает на кризисные явления в экономике. Однако национальная логистика отстает в своем развитии от мировой, что подтверждает ее незначительная доля в объеме ВВП республики (табл. 1). По данным Всемирного банка, в развитых странах логистическими услугами обеспечивается от 15 до 25 % ВВП страны с тенденцией к повышению [6, с. 36]. В странах Евросоюза за счет логистики формируется 20–25 % ВВП [7, с. 16].

Таблица 1

Объемы ВВП и логистических и транспортно-экспедиционных услуг в Беларуси в 2014–2016 гг.
GDP volumes and logistics and freight forwarding activities in Belarus in 2014–2016

| Показатель | 2014 г. | | 2015 г. | | 2016 г. | |
|---|------------------|------------|------------------|------------|------------------|------------|
| | Объем, млрд руб. | Уд. вес, % | Объем, млрд руб. | Уд. вес, % | Объем, млрд руб. | Уд. вес, % |
| ВВП | 805793 | 100 | 899098 | 100 | 94,3 | 100 |
| Логистические и транспортно-экспедиционные услуги | 18023 | 2,2 | 22563 | 2,5 | 3,2 | 3,4 |
| Логистические услуги | 1517 | 0,2 | 1569 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |

Примечание. Источник – разработка автора на основе отчетов государственной статистики по форме 1-логистика (Минтранс) и данных, размещенных на сайте Национального статистического комитета Республики Беларусь [8].

Успешность логистической деятельности в любом государстве оценивается комплексностью предоставления логистических услуг. По данным Европейской логистической ассоциации, комплексность услуг логистических компаний в странах Евросоюза составляет около 70 %, в то время как в Беларуси едва достигает 15 % [5, с. 55]. Аутсорсинг логистических услуг практически не применяется в республике. В Китае его доля на рынке транспортно-логистических услуг составляет 48 %, в Европе – 65 %, в России – 23 %, а в Беларуси – не более 3 % [9, с. 8]. Национальный бизнес уступает мировому в оказании услуг по комплексному обеспечению логистики, включая закупку, таможенное оформление, сбыт, финансирование, информационные услуги, организацию и обслуживание цепочек поставок, организацию контрактной работы по внешнеэкономической деятельности, управленческий и организационный консалтинг [10, с. 42].

Указанные факты подтверждаются исследованиями БелНИИТ «Транстехника», в результате которых установлено, что более 70 % экспортных товаров продается без доставки до потребителя. Так, по данным Белорусской металлургической компании, 2014–2015 гг. около 80 % ее продукции поставлено на экспорт через товаропроводящую сеть дилеров, которые организуют ее перевозки. При этом более 70 % отгрузки продукции осуществляется на условиях FCA. Анализ транспортно-логистических схем доставки указанной продукции в Германию показал, что при использовании комплексного логистического подхода возможна экономия транспортной составляющей до 30 %. Учитывая наличие собственного логистического подразделения и дочернего транспортного предприятия, имеющего более 70 грузовых автомобилей, и возможности обратной загрузки автотранспорта, эта экономия может достигнуть 50 %.

Следствием недостаточного уровня использования принципов логистики является высокий уровень логистических издержек, которые колеблются в пределах 20–25 % объема ВВП республики [11, с. 351]. Средний мировой показатель логистических издержек в 2013 г. оценивался Armstrong&Associates Inc. в 11,6 % [12, с. 221]. Одним из факторов высокого уровня издержек на белорусском рынке является недостаточное количество логистических операторов. Логистические системы продвигают в основном немногочисленные государственные

предприятия и организации с участием иностранного капитала. Наиболее крупными операторами на рынке логистических услуг Беларуси являются ГП «Белтаможсервис», ГП «БТЛЦ – транспортно-логистический центр», ОАО «Белмагистральавтотранс», ОАО «Торгово-логистический центр Озерцо-Логистик» [13, с. 23]. Важно отметить, что средняя рентабельность логистического центра в Беларуси чуть более 20 %, при этом представители отдельных логистических центров заявляют о намного большей прибыльности объектов логистической инфраструктуры [11, с. 355].

Главной проблемой в повышении спроса на услуги в логистических центрах является их ценовая политика. Это связано с тем, что логистические центры, за исключением государственных, на этапе проектирования задумывались как центры логистики собственников товарных потоков. Выполнение функций распределительных или дистрибуционных центров по обработке транзитных или внешних потоков, как правило, не планировалось. Соответственно они в основном ориентированы на управление движением собственных товарных потоков, и оказание логистических услуг осуществляется в качестве дополнения к основному виду деятельности. Из 74 логистических функций, определенных СТБ 2306, логистические центры предлагают 15–20, притом что для этого имеются правовые и технические возможности, (например, кросс-докинг реализует несколько логистических центров). Владельцы логистических центров в условиях экономической неопределенности, высоких процентных ставок по кредитам, при больших инвестиционных рисках ориентированы на скорейший возврат финансовых вложений. Соответственно они используют высокомаржинальные виды деятельности, а не долгосрочные программные продукты.

Для определения путей достижения европейского уровня логистического сервиса необходимо выявить те факторы, по которым Беларусь отстает больше всего. С этой целью проведен анализ инфраструктурных условий и институциональной основы логистики, который выявил вопросы, препятствующие ее развитию, и показал многофакторность данного процесса. По данным Всемирного банка, в странах, которые являются членами ЕАЭС, в том числе в Беларуси, затраты на логистику крайне высоки, и это обусловлено следующими факторами:

– неэффективным использованием грузового транспорта – его средняя производительность в четыре раза меньше, чем в развитых зарубежных странах;

– низкой технической оснащенностью, высокой степенью износа, несоответствием требованиям к перевозимому грузу и другим эксплуатационным требованиям, которыми характеризуется значительная часть грузовых автомобилей;

– недостаточным развитием систем логистики, плохой координацией при осуществлении смешанных перевозок разными видами транспорта;

– отсутствием эффективных транспортных технологий и логистических центров на междугородних маршрутах, что вызвано значительным сокращением использования большегрузных автомобилей и недостаточным увеличением перевозок малотоннажными автомобилями, нерешением проблемы загрузки порожних транспортных средств [5, с. 46].

Международная практика показывает, что неадекватное развитие транспорта на национальном уровне приводит к завышенным затратам в производстве, сдерживанию развития других отраслей. Обобщенным показателем эффективности транспорта может служить величина транспортной составляющей в цене товара. По данным Национальной академии наук, в Беларуси она составляет 33–35 %, что в три раза больше среднеевропейской [14, с. 23]. Важным фактором также является среднесуточная скорость движения грузового автомобиля, которая на территории ЕАЭС в среднем составляет примерно 280 км в сутки, в то время как западные перевозчики обеспечивают пробег в 800 км [5, с. 68]. По этой причине во многом затягивается время доставки грузов и соответственно увеличивается транспортная составляющая. В этом аспекте важно отметить, что дорожное хозяйство Беларуси представляет собой близкую к оптимальной разветвленную сеть автодорог, позволяющую обеспечивать непрерывную круглогодичную связь практически со всеми населенными пунктами. Протяженность автодорог общего пользования составляет 83 тыс. км. Однако плотность загородных автодорог с твердым покрытием низкая – 337 км на 1000 кв. км территории. В европейских странах этот показатель в среднем равен 906 км.

Комплексная оценка эффективности логистической деятельности представлена в индексе эффективности логистики Всемирного банка.

По показателям «Таможенные процедуры», «Транспортная инфраструктура», «Отслеживание прохождения грузов» Беларусь в 2007 г. опережала страны СНГ, а из 150 стран занимала 74-е место в общем рейтинге (количество баллов – 2,53). Другие страны СНГ имели более низкий общий рейтинг [15]. Беларусь демонстрирует относительно высокое качество транспортной и коммуникационной инфраструктуры и конкурентный уровень внутренних затрат на логистику. По рейтингу LPI, в 2007 г. показатель «Эффективность процедур таможенного оформления» сопоставим с аналогичными показателями соседних стран Евросоюза [16].

Создание условий в республике в этой сфере оценено LPI в 2012 г. на уровне 91-го места, в 2014 г. – 99-го места, в 2016 г. – 120-го места. Снижение позиции Беларуси в 2016 г. по отношению к 2014 г. определилось уменьшением балльной оценки всех оцениваемых критериев, включая показатель «Эффективность таможенного и пограничного оформления» (2,06 и 2,50 балла соответственно), «Качество инфраструктуры» (2,10 и 2,55), «Простота организации международных перевозок» (2,62 и 2,74), «Качество логистических услуг» (2,32 и 2,46), «Отслеживание прохождения грузов» (2,16 и 2,51), «Своевременность отгрузки грузов» (3,04 и 3,05) [17]. Следует отметить, что место республики в рейтинге определяется в значительной степени за счет повышения рейтинга других стран. При равных прочих условиях Беларусь с такой суммой баллов имела бы место в рейтинге до 40-го.

В условиях формирования единого рынка в ЕАЭС интерес представляет сопоставительный анализ динамики значений индекса LPI по Беларуси и другим странам ЕАЭС. Лидером по значению индекса LPI с 2010 г. выступает Казахстан, Беларусь показала наивысший балл в 2007 г., второй результат после Казахстана в 2012 г., четвертый в 2014 г. и третий в 2016 г. Россия получила в 2016 г. наиболее высокие баллы по критериям «Качество и компетентность услуг» (2,76) и «Своевременность поставок» (3,15). Казахстан лидирует по количеству баллов в субиндексах «Таможня» (2,52), «Инфраструктура» (2,76), «Международные перевозки» (2,75) и «Отслеживание прохождения грузов» (2,86). Беларусь не вышла в лидеры ни по одному из шести критериев, заняв вторые позиции по числу баллов в субиндексах «Таможня» (2,06) и «Международные перевозки» (2,62).

Среди других особенностей белорусской логистики можно выделить тот факт, что на этапе планирования создания некоторых логистических центров допущены ошибки в части их специализации, поскольку не учтено отсутствие подъездных железнодорожных путей, не предусмотрено функционирование таможенных структур и не использованы в полном объеме принципы сетевого взаимодействия – только 35 субъектов, оказывающих логистические услуги, применяют интеграционные пакеты обмена данными с внешними средами [10, с. 43].

Показатели транспортно-логистической деятельности за 2016 г.

В Беларуси на начало 2017 г. функционирует 41 логистический центр. Государственными являются 11. Среди отечественных инвесторов – «Евроторг», «А-100», «Корона-Техно», «Дарида», «Алиди инвест», «Алитрэйд», «Миллениум Групп», «Белвиллесден», «Ромакс», «Астомстрой»; среди иностранных – инвесторы из России, Литвы, Азербайджана, Чехии и Ирана. Основные места расположения логистических центров – в Минской области (29) вблизи II и IX трансъевропейских транспортных коридоров и в Брестской области (6) на границе с Польшей – показывают неравномерность их распределения по территории республики. Также национальные логистические центры характеризуются неразвитостью комплексности оказания услуг. Складами временного хранения и таможенными складами располагают 12 логистических центров, у 10 имеются пункты таможенного оформления, биржевыми складами располагают три логистических центра. Восемь логистических центров являются мультимодальными, остальные обрабатывают грузы, прибывшие автотранспортом. В то же время важно отметить развитие инфраструктурной составляющей логистических центров. Складская площадь 30 логистических центров составляет 677,9 тыс. кв. м (рост к 2015 г. в 1,5 раза), из них склады временного хранения и таможенные склады – 260,1 тыс. кв. м (рост к 2015 г. на 17 %), склады общего пользования – 331,5 тыс. кв. м (рост к 2015 г. на 65 %), контейнерные терминалы – 86,3 тыс. кв. м (рост к 2015 г. на 88 %). При этом необходимо учитывать рост количества респондентов – логистических центров, предоставивших государственный статистический отчет о своей деятельности, с 18 за 2015 г. до 30 за 2016 г.

Анализ данных за 2016 г. показал по сравнению с 2015 г. увеличение значений по всем показателям государственной статистической отчетности. Так, рост логистических и транспортно-экспедиционных услуг составил 41 % (3,1 млрд руб., или 1,5 млрд дол. США), логистических услуг по обработке транзитных грузов на территории Беларуси – 28 % (59,7 млн руб., или 30,1 млн дол.), транспортно-экспедиционных услуг – 39 % (2,9 млрд руб., или 1,4 млрд дол.), импорта транспортно-экспедиционных услуг – 44 % (938,7 млн руб., или 472,1 млн дол.), выручки от реализации услуг экспедитора – 85 % (352,6 млн руб., или 177,4 млн дол.), объема полученных и отправленных грузов – 21 % (506,3 тыс. т). Соответственно возросли и затраты по содержанию логистических центров на 43 % (40,7 млн руб.). Также увеличились объемы транспортно-экспедиционных услуг в разрезе всех видов используемого транспорта на 39 %, в том числе по автомобильному – на 49 %, по водному – на 50 %, по воздушному – на 44 %, по железнодорожному – на 28 %.

Данные факты свидетельствуют о значительном росте показателей логистической деятельности, что связано с увеличением как объемов услуг, так и количества респондентов, предоставивших отчетные данные. Статистический отчет о логистической и транспортно-экспедиционной деятельности предоставили 1134 респондента (47 %, осуществлявших такую деятельность), а аналогичные отчеты за 2015 г. предоставила 831 организация.

Результаты анкетирования отдельных логистических центров

Для изучения условий, в которых осуществляют деятельность национальные логистические центры, проведен функционально-стоимостной анализ ряда технических, социальных и экономических показателей по результатам электронного анкетирования в 2016 г. БелНИИТ «Транстехника» 15 крупнейших логистических центров Беларуси. В итоге выявлены:

1) недостаточность количества услуг, оказываемых в логистических центрах (30–35). Наибольшее количество услуг оказывается по организации перевозки грузов автотранспортом, по осуществлению контроля за перевозками, обеспечению перевозки с использованием информационно-коммуникационных технологий, оформлению перевозочных, грузосопрово-

дительных и иных документов, по разгрузке (погрузке) груза из транспортных средств, по внедрению и использованию автоматизированных систем управления складским комплексом, обработке бракованного товара и его утилизации, по приемке и отгрузке товаров с использованием специализированной складской техники, адресному хранению и объединению в партии отдельных единиц товаров по сроку годности, серийному номеру и по другим параметрам. Наименьшее количество услуг оказывается по организации перевозок грузов водным и воздушным транспортом, по сопровождению груза в процессе перевозки и обеспечению его сохранности, по предъявлению товара и документов в таможенные органы для совершения таможенных операций и таможенного контроля, уплаты таможенных платежей;

2) невысокая загрузка складских площадей логистических центров (63 %). Как следствие, коэффициент оборачиваемости товаров на складах логистических центров составляет 1,18, что значительно ниже показателей, например, логистических центров компаний DuPont и BDP International (Istanbul) – 1,7 [18], логистического центра Army Logistics Center NATO (Brussel) – 1,9 [19];

3) узкая специализация логистических центров. Основными клиентами логистических центров являются распределительные оптово-торговые сети (87 % респондентов) и импортеры товаров (53 % респондентов). Соответственно в логистических центрах в большей степени обрабатываются промежуточные товары. Экспортные товары составляют менее одной трети товарооборота логистических центров;

4) ограниченное использование аренды складских помещений. Арендуемая площадь в размере 250–500 кв. м имеется у 60 % респондентов, 500–1000 кв. м – у 20 % респондентов, более 1000 кв. м – у 20 % респондентов;

5) широкий диапазон размеров ставок аренды складских площадей класса А, которые колеблются от 6 дол. США за паллето-место в месяц в логистических центрах, удаленных от г. Минска (например, в п. Михановичи), до 12,5 дол. в логистических центрах, расположенных вблизи г. Минска;

6) снижение спроса на складские площади логистических центров. Сокращение спроса в Минском районе с ноября 2015 г. по январь 2016 г. по сравнению с январем – октябрём 2015 г. составило 40–50 %. Так, если ранее потребность в складских помещениях и ком-

плексной обработке грузов росла во многом благодаря развитию крупных торговых компаний «Евроторг», «Соседи», «Гиппо», то сейчас большинство из них заморозили планы по развитию или сокращают число оптовых и розничных подразделений. Отсутствует рост спроса на услуги логистических центров по переработке транзитного грузопотока. Основная причина состоит в том, что большинство логистических центров не являются контрагентами по сделке при проведении экспортно-импортных операций, а выступают в роли хранителя или переработчика товара. Спрос наблюдается на услуги по хранению товаров в складах, позволяющих соблюсти температурный режим, а также на услуги по хранению грузов на открытых площадках. Количество таких складов относительно небольшое, поэтому уровень использования их мощностей составляет 85–90 %;

7) недостаточное использование аутсорсинга услуг логистических центров. Несмотря на эффективность внутрифирменных логистических цепей, включение внутренней информации в общепотоковую (внешнюю) информационную систему (по данным анкетирования – 80 %), важнейшей тенденцией на рынке международной логистики становится аутсорсинг услуг. Однако показатель «объем логистического аутсорсинга» низкий и составляет около 54 млн руб. в расчете на один логистический центр, или менее 2 % объема логистических услуг, оказанных ими в декабре 2015 г. – январе 2016 г. Отказ от аутсорсинга обусловлен нехваткой средств для оплаты услуг сторонних организаций, недостаточным количеством 3 PL-операторов и нежеланием клиентуры менять технологию работы, при которой транспортные, погрузочные, складские и иные виды работ выполняются собственными силами;

8) недостаточный уровень персонала логистических центров с высшим профильным образованием. В среднем на один логистический центр приходится 12 специалистов с высшим логистическим образованием. Для эффективного управления цепями поставок соотношение профильных и остальных специалистов должно составлять 2 к 3 [20]. С учетом анкетирования необходимо в среднем по 20–22 специалиста с высшим профильным образованием.

ВЫВОДЫ

1. С учетом макрологистических факторов, определяющих спрос на услуги по обработке грузов в логистических центрах, в краткосроч-

ной перспективе прогнозируются: сокращение транспортно-экспедиционных услуг, рост эффективности администрирования логистических процессов за счет расширения комплексности и повышения качества логистического сервиса, создание интегрированных бизнес-структур, деятельность которых будет направлена на координацию работы различных организаций по управлению материальным потоком. Основными макрологистическими факторами, определяющими спрос на логистические услуги, являются: динамика международной торговли, глобализация грузопотоков, потребность в оптимизации расходов, связанных с перевозкой, хранением и дистрибуцией товаров. Состояние международного рынка логистических услуг определяется в последние годы в первую очередь замедлением роста мировой экономики. Среди долгосрочных мировых экономических тенденций, влияющих на объемы грузопотоков и соответственно на уровень спроса по обработке грузов в логистических центрах республики, следует отметить переориентацию капиталов с рынков Китая и Азиатско-Тихоокеанского региона на рынки Латинской Америки и Восточной Африки, изменение структуры инвестиций в китайскую экономику – от материало- и трудоемких производств к капиталоемким и высокотехнологичным, формирование экономических мегаблоков, снижение роли ВТО как регулятора международной торговли, а также спроса на сырьевые товары.

2. Анализируя возможности повышения спроса на логистические услуги в Беларуси, целесообразно рассмотреть современные тенденции развития логистической среды. Возрастает роль интегрированного взаимодействия между участниками логистического процесса, что предполагает создание коалиции заинтересованных структур во главе с интегратором, ориентированных на систематическое развитие логистических систем, их финансового обеспечения и сокращение длительности циклов транспортировки товаров. В качестве примера таких тенденций в Беларуси можно привести коалицию организаций, оказывающих услуги по хранению и обработке товаров, оптовой и розничной торговли, транспортной экспедиции, таможенных, страховых агентов. Интегратором в данной коалиции выступает логистический оператор «Глобал Парк» (г. Минск), который выполняет функции координации взаимодействия участвующих организаций.

3. Комплексный подход в предоставлении логистических услуг начал внедряться и в транспортных организациях – оказание, помимо профильных услуг по перевозке грузов, смежных услуг, сконцентрированных в сфере логистики (транспортная экспедиция, хранение и переработка товаров, их таможенное оформление). Показателен опыт ООО «Интертрансавто», которое для оптимизации процесса автоперевозок сборных грузов перенесло их комплектацию в Беларусь. Для этого в 2016 г. введен в эксплуатацию первый в республике склад типа «кросс-докинг» площадью 3000 кв. м, функционирование которого построено по принципу оперативной приемки и отправки товаров при международной автоперевозке через склад без их размещения в зоне долговременного хранения. Перегрузки товаров под таможенным контролем проходят с минимальным участием уполномоченных должностных лиц. Данный проект осуществляется в порядке эксперимента с разрешения Государственного таможенного комитета Республики Беларусь. Функционирование указанного склада показывает свою эффективность и, по прогнозу предприятия, позволит получать эффект за счет увеличения оборачиваемости транспорта и сокращения расходов на хранение и переработку товаров.

4. Описанные инновационные подходы бизнеса в организации логистической деятельности в республике при соответствующей поддержке государства могут быть распространены для реализации другими субъектами хозяйствования, что в свою очередь может привести к качественно новому этапу развития национальной логистики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Еловой, И. А. Стратегия развития белорусского логистического рынка транспортных услуг / И. А. Еловой // Республика Беларусь в системе международных экономических отношений: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 23–24 окт. 2008 г. Минск: Право и экономика, 2009. С. 475–478.
2. Оптимальные решения устойчивой позиции // Компас экспедитора и перевозчика. 2016. № 3 С. 8–15.
3. На основных маршрутах товарных потоков // Компас экспедитора и перевозчика. 2016. № 4 С. 4–9.
4. Ивуть, Р. Б. Управление логистическими потоками в строительной отрасли Беларуси / Р. Б. Ивуть, А. Ф. Зубрицкий, П. И. Лапковская // Новости науки и технологий. 2016. № 1. С. 36–41.
5. Антюшена, Д. М. Транспортно-логистическая система Республики Беларусь: становление и развитие / Д. М. Антюшена. Минск: БНТУ, 2016. 222 с.
6. Обзор транспортного сектора Республики Беларусь: доклад / Всемирный банк. Департамент устойчивого

- развития. Регион Европы и Центральной Азии. Вашингтон: Всемирный банк, 2010. 96 с.
- Паньшин, Б. Перспективы электронного бизнеса в ЕАЭС и приоритеты в подготовке специалистов / Б. Паньшин, Е. Якушкин // Наука и инновации. 2015. № 4. С. 16–18.
 - Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/natsionalnye-scheta/godovye-dannye/11/proizvodstvo-valovogo-vnutrennego-produkta/>. Дата доступа: 25.05.2017.
 - Бенько, А. Удобное место пусто не бывает / А. Бенько // Рэспубліка. 2015. 17 февр.
 - Козлов, В. От «уступчивости» к комплексному развитию / В. Козлов, Е. Иванов // Компас экспедитора и перевозчика. 2015. № 2. С. 42–44.
 - Домнина, С. В. Развитие рынка транспортно-логистических услуг в странах-членах Евразийского экономического союза / С. В. Домнина, А. И. Федоренко // Логистика сегодня. 2014. № 6. С. 344–361.
 - Мясникович, М. В. Эволюционные трансформации экономики Беларуси / М. В. Мясникович. Минск: Беларуская навука, 2016. 321 с.
 - Состояние автомобильного транспорта в Едином экономическом пространстве // Автомобильный транспорт. 2015. № 3.
 - Состояние и перспективы развития системы транспорта и логистики / Мин-во транспорта и коммуникаций Респ. Беларусь. Минск: Транспортный вестник, 2009. 123 с.
 - Всемирный банк [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.worldbank.org/lpi/>. Дата доступа: 12.11.2016.
 - СТА Логистик [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.sta-logistic.by/infocenter/articles-355.html>. Дата доступа: 12.11.2013.
 - Всемирный банк [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://lpi.worldbank.org/international/global>. Дата доступа: 01.08.2016.
 - Kerry Logistics Network Limited [Electronic resource]. Mode of access: http://www.kerrylogistics.com/eng/INVESTOR/analyst/images/20140122_Kerry%20Logistics%20Network%20CIMB%20Research.pdf. Date of Access: 22.01.2016.
 - NATO Logistics Handbook [Electronic resource]. Mode of access: <http://www.dtic.mil/docs/citations/ADA479915>. Date of Access: 28.01.2016.
 - KPMG [Electronic Resource]. Mode of Access: <http://www.kpmg.com/Global/en/IssuesAndInsights/ArticlesPublications/Documents/transport-logistics-insights.pdf>. Date of Access: 05.02.2016.
- Поступила 31.05.2017
Подписана в печать 07.08.2017
Опубликована онлайн 28.11.2017
- REFERENCES
- Yelovoy I. A. (2009) Strategy for Development of Belarusian Logistics Market in Transport Services. *Respublika Belarus' v Sisteme Mezhdunarodnykh Ekonomicheskikh Otnoshenii: Materialy Mezhdunar. Nauch.-Prakt. Konf., Minsk, 23–24 okt. 2008 g.* [Republic of Belarus in the System of International Economic Relations: Proceedings of International Scientific and Practical Conference, Minsk, October 23–24, 2008]. Minsk, Pravo i Ekonomika Publ, 475–478 (in Russian).
 - Optimum Solutions for Sustainable Position. *Kompas Expeditora i Perevozchika = Forwarder's and Carrier's Compass*, 2016, (3), 8–15 (in Russian).
 - Main Routes of Commodity flows. *Kompas Expeditora i Perevozchika = Forwarder's and Carrier's Compass*, 2016, (4), 4–9 (in Russian).
 - Ivut R. B., Zoubritsky A. F., Lapkovskaya P. I. (2016) Logistics Flow Management in Construction Industry of Belarus. *Novosti Nauki i Tekhnologii = News of Science and Technologies*, (1), 36–41 (in Russian).
 - Antioushenya D. M. (2016) *Transport-Logistics System of the Republic of Belarus: Formation and Development*. Minsk, Belarusian National Technical University. 222 (in Russian).
 - World Bank. Department of Sustainable Development. Region of Europe and Central Asia (2010) Review of Transport Sector of the Republic of Belarus. Washington, World Bank. 96 (in Russian).
 - Panshin B., Yakoushkin E. (2015) Propects of Electronic Business in EAEU [Eurasian Economic Union] and Priorities in Training of Specialists. *Nauka i Innovatsii = Science and Innovations*, (4), 16–18 (in Russian).
 - National Statistical Committee of the Republic of Belarus. Available at: <http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/natsionalnye-scheta/godovye-dannye/11/proizvodstvo-valovogo-vnutrennego-produkta/>. (Accessed 25 May 2017) (in Russian).
 - Benko A. (2015. February, 17) Convenient Place is Always Occupies. *Respublika [Republic]* (in Russian).
 - Kozlov V., Ivanov E. (2015) From Adaptableness to Complex Development. *Kompas Expeditora i Perevozchika = Forwarder's and Carrier's Compass*, (2), 42–44 (in Russian).
 - Domnina S. V., Fedorenko A. I. (2014) Development of Market for Transport-Logistics Services in Member-Countries of Eurasian Economic Union. *Logistika Segodnya [Logistics Today]*, (6), 344–361 (in Russian).
 - Myasnikovich M. V. (2016) *Evolutional Transformations in Belarusian Economics*. Minsk, Belaruskaya Navuka Publ. 321 (in Russian).
 - Situation with Automotive Transport in Common Free Market Zone. *Avtomobilny Transport [Automotive Transport]*, 2015, (3) (in Russian).
 - Ministry of Transport and Communications of the Republic of Belarus (2009) *Situation and Prospects of Development for Transport System and Logistics*. Minsk, Transportny Vestnik Publ. 123 (in Russian).
 - World Bank*. Available at: <http://www.worldbank.org/lpi/>. (Accessed 12 November 2016). (in Russian).
 - STA Logistic*. Available at: <http://www.sta-logistic.by/infocenter/articles-355.html>. (Accessed 12 November 2013) (in Russian).
 - World Bank*. Available at: <http://lpi.worldbank.org/international/global>. (Accessed 1 August 2016).
 - Kerry Logistics Network Limited*. Available at: http://www.kerrylogistics.com/eng/INVESTOR/analyst/images/20140122_Kerry%20Logistics%20Network%20CIMB%20Research.pdf. (Accessed 22 January 2016).
 - NATO Logistics Handbook*. Available at: <http://www.dtic.mil/docs/citations/ADA479915>. (Accessed 28 January 2016).
 - KPMG*. Available at: <http://www.kpmg.com/Global/en/IssuesAndInsights/ArticlesPublications/Documents/transport-logistics-insights.pdf>. (Accessed 5 February 2016).
- Received: 31.05.2017
Accepted: 07.08.2017
Published online: 28.11.2017

DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-6-515-525

УДК 338.1:001.895

Экономический рост на основе инновационного развития – основа макроэкономической стабилизации и устойчивости национальной экономики

Канд. экон. наук, доц. Н. Я. Кажуро¹⁾¹⁾Белорусский государственный университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2017

Belarusian National Technical University, 2017

Реферат. Со вступлением мирового сообщества в XXI в. формирующаяся в мире экономика все более отчетливо определяется как постиндустриальная, когда ведущим сектором экономики в производстве ВВП являются не сельское хозяйство и даже не промышленность, а услуги. Основным производственным ресурсом в таких условиях выступает не природный и производственный, а человеческий капитал, который представляет собой имеющийся у каждого запас знаний и навыков, накопленных в результате обучения и предыдущей трудовой деятельности. Величина этого капитала непосредственно зависит от уровня образованности – как общей, так и профессиональной. Чем выше этот уровень, тем более ценные для нанимателей виды работ может выполнять тот или иной человек. Интеллект человека становится главным фактором производства и богатства страны и превращается в интеллектуальный капитал. Следовательно, формируется особый рынок – рынок интеллектуального капитала. Предложение на таком рынке представлено рабочей силой, имеющей высокий уровень интеллектуальности и инновационности и обладающей, в свою очередь, высокой рыночной стоимостью. Целесообразно используемые в той или иной сфере составляющие человеческого капитала способствуют научно-техническому и социальному прогрессу общества, его устойчивому экономическому развитию, так как основным типом конечной продукции в отличие от предыдущих стадий развития выступают информация и знания, а главным фактором экономического роста – производительность работников умственного труда. Именно человеческий капитал является одним из главных факторов, обеспечивающих в современных условиях переход к V и VI технологическим укладам, лежащим в основе формирования нового интеллектуально-информационного общества. Новые знания и информационные технологии производят ныне революционный сдвиг не только в непосредственном производстве товаров, но и в непроизводственном секторе (образовании, здравоохранении, торговле, финансах и т. п.).

Ключевые слова: производство, воспроизводство, экономический рост, инновация, человеческий капитал

Для цитирования: Кажуро, Н. Я. Экономический рост на основе инновационного развития – основа макроэкономической стабилизации и устойчивости национальной экономики / Н. Я. Кажуро // *Наука и техника*. 2017. Т. 16, № 6. С. 515–525. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-6-515-525

Economic Growth Based on Innovative Development – Foundation of Macroeconomic Stabilization and Sustainability of National Economy

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

Abstract. When the global community entered in the XXI century world emerging economy is more clearly considered as post-industrial, where a leading sector of the economy in the GDP production is not agriculture and not even industry but services. The main productive resource in such circumstances is not natural and productive capital but human capital, which is represented by storage of knowledge and skills accumulated by a person in the process of training and previous employment.

Адрес для переписки

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

Address for correspondence

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

Value of this capital is directly dependent on the level of education both general and professional. Human intellect becomes a main factor of production and professional. If the level is higher it means that such person can perform more valuable types of work for expand wealth of the country and it is transformed into intellectual capital. Consequently, a special market is formed that is a market of intellectual capital. An offer in this market is represented by labor with a high level of intellectuality and innovativeness and it has, in its turn, high market value. Well-handled components of human capital contribute to scientific-technical and social progress of the society, its sustainable economic development as the main types of final products unlike with previous stages of development are information and knowledge and the main factor of economic growth is productivity of mental labor workers. It is human capital that is one of the main factors ensuring transition to V and VI technological paradigms under current conditions. These paradigms are underlying a solid foundation for formation of new intellectual and information society. New knowledge and information technologies are making a breakthrough not only in the direct production of commodities but in the non-manufacturing sector as well (education, health, trade, finance etc.).

Keywords: production, reproduction, economic growth, innovation, human capital

For citation: Kazhuro N. Ya. (2017) Economic Growth Based on Innovative Development – Foundation of Macroeconomic Stabilization and Sustainability of National Economy // *Science and Technique*. 16 (6), 515–525. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-6-515-525 (in Russian)

Поскольку общество не может перестать потреблять, поэтому оно не может перестать производить. Следовательно, функционирование национальной экономики должно быть постоянным (непрерывным, перманентным). Из всех многообразных видов человеческой деятельности наиболее важным, имеющим непреходящее значение видом является деятельность по производству материальных благ. С нее начинается история человеческого общества, ею в конечном счете определяется степень прогресса во всех других областях жизни людей.

Производство – это деятельность человека, посредством которой он удовлетворяет свои потребности. Поскольку природа не предоставляет человеку необходимые ему блага, то их надо производить. Поэтому производство есть объективная необходимость, не имеющая альтернативы: без него невозможно существование общества.

В широком смысле производство охватывает совокупность всех процессов в экономике, направленных на создание как материальных, так и нематериальных благ и услуг. Оно имеет две взаимосвязанные стороны: материальную и общественную. Первая характеризует отношение людей к природе. Она отражает материальное содержание процесса труда. Вторая сторона включает взаимоотношения людей в процессе производства, отражает общественную форму труда.

По своей сущности общественное производство – это производство самого человека, так как оно предполагает создание условий, необходимых для нормальной жизнедеятельно-

сти людей. Поэтому главной целью общественного производства является удовлетворение потребностей людей путем выпуска товаров и оказания услуг с наименьшими затратами.

Производство – не только процесс создания материальных благ в течение данного периода времени. Производство в широком смысле, взятое не как отдельный акт, а как непрерывно возобновляющийся и повторяющийся процесс, выступает как общественное воспроизводство, включающее также распределение и потребление созданного продукта. Во взаимодействии фаз (стадий) общественного воспроизводства особая роль принадлежит производству. Оно выступает не только исходной, но и определяющей стадией общественного воспроизводства. Эта роль производства определяется тем, что потребить можно лишь предварительно созданные трудом потребительные стоимости. Именно производство создает продукты потребления, формирует потребности общества и определяет структуру подлежащих удовлетворению потребностей.

Производство обуславливает также распределение продукта между собственниками средств производства и структуру обмена продукцией между отдельными участниками процесса производства.

Кроме того, характер производства предопределяет и характер всех других стадий общественного воспроизводства. Поэтому распределение, обмен и потребление можно рассматривать как внутренние моменты самого производства, как отдельные части целого. Говоря иначе, определенное производство обуславливает

и определенные распределение, обмен и потребление, а также определенные соотношения этих различных фаз производства между собой.

Заключительной фазой процесса воспроизводства является потребление, которое тесно взаимосвязано с производством. Без производства нет и потребления, а при отсутствии потребления нет и производства, которое в данном случае было бы бессмысленным. Потребление выступает целью производства, а производство является средством реализации этой цели. Если в процессе производства продукты создаются, то в процессе личного потребления (любое производство в конечном счете подчинено личному потреблению) они исчезают окончательно.

Национальная экономика любой страны ориентируется на производство определенных объемов товаров и услуг при их соответствующей структуре. В зависимости от того, как изменяются объемы производимых благ, различают убывающее, простое и расширенное воспроизводство. При убывающем воспроизводстве имеет место снижение объемов выпуска продукции в силу стихийных бедствий, войн, экономических кризисов и других катаклизмов. При простом воспроизводстве объемы производства продукции и ее качество остаются неизменными в каждом из последующих периодов. Наконец, расширенное воспроизводство предполагает увеличение объема производства в каждом следующем периоде, которое измеряется темпами роста продукции или ее прироста при возрастающем качестве данной продукции. В процессе воспроизводства происходит не только непрерывное возобновление производства материальных благ в рамках определенных производственных отношений, но также и непрерывное возобновление самих этих отношений, включая воспроизводство факторов производства. Поэтому основными элементами процесса воспроизводства выступают: воспроизводство материальных благ, воспроизводство основных факторов производства, включая рабочую силу и средства производства; воспроизводство среды обитания человека; воспроизводство производственных отношений, в рамках которых происходит выпуск товаров и услуг.

В отличие от производства воспроизводственные процессы включают не только условия возобновления производства, но также и все другие стадии (фазы) воспроизводства, а именно: распределение, обмен и потребление общественного продукта.

С понятием расширенного воспроизводства согласуется понятие «экономический рост», который тесно связан с проблемами расширенного воспроизводства. Мало того, он является концентрированным выражением и способом разрешения проблем воспроизводства.

Основой экономического роста прежде всего является увеличение таких воспроизводственных показателей, как ВВП, национальный доход, объем производства продукции в отдельных отраслях экономики и т. д. [1, с. 84]. Экономический рост выступает как тенденция изменения агрегированных (совокупных) показателей развития национальной экономики за определенный период времени (как правило, за год).

Экономический рост можно определить как процесс, который характеризуется увеличением массы создаваемых благ и услуг в соответствии с объемами и структурой личных и общественных потребностей, которые складываются в национальной экономике.

Динамика параметров экономического роста используется для характеристики развития национальных хозяйственных систем, а также в целях государственного регулирования экономики. Деятельность высших хозяйственных и политических органов население оценивает прежде всего на основе рассмотрения показателей динамики экономического роста, динамики уровня жизни. Это обусловлено тем, что конечной целью экономического роста являются потребление, рост благосостояния населения страны.

Главный вопрос, на который стремится ответить теория экономического роста, сводится к тому, каким образом в долгосрочном периоде, т. е. в условиях полной занятости, можно увеличить реальный объем общественного продукта. Данный вопрос имеет непосредственное практическое значение, поскольку его решение позволяет национальной экономике преодолевать ограниченность имеющихся производственных ресурсов и таким путем расширять

возможности удовлетворения потребностей общества. Темпы и качество экономического роста непосредственно зависят от его типа. Выделяют два основных типа экономического роста: экстенсивный и интенсивный.

Экстенсивный экономический рост основывается на использовании дополнительной массы всех факторов производства: труда, земли, оборудования (средств производства). При этом предполагается, что техническая основа остается такой же, как и в предшествующем периоде. Здесь происходит лишь расширение «поля производства» с целью увеличения выпуска продукции, не считаясь с затратами. При таком подходе для удвоения производства какой-либо продукции необходимо удвоить дополнительное привлечение факторов производства.

Интенсивный экономический рост – это такой тип роста, когда происходит использование более совершенных факторов производства (труда, земли, оборудования) на более совершенной технической и технологической основе по сравнению с предыдущим периодом благодаря использованию достижений научно-технического прогресса.

Результатом интенсификации может явиться не только увеличение объема продукции, но и повышение ее качества.

В то же время необходимо отметить, что история экономики не знает экстенсивного или интенсивного типа экономического роста в чистом виде. Всегда имеет место симбиоз этих двух типов, где преобладает преимущественно экстенсивный или интенсивный экономический рост.

Главное отличие экстенсивного типа экономического роста от интенсивного его типа заключается в том, что в первом случае речь идет об ориентации экономики страны на увеличение выпуска продукции, не считаясь при этом с затратами на ее производство, а во втором случае страна ориентируется на минимизацию затрат на каждую единицу производимой продукции.

Чтобы отнести экономический рост к тому или иному типу, необходимо сравнить удельный вес прироста производства, полученного за счет количественного или качественного изменения его факторов. Речь идет о преобладании того или иного типа при различных комбина-

циях факторов производства. Так, для Республики Беларусь преобладающим типом пока является экстенсивно-интенсивный тип экономического роста.

Определить долю интенсивных факторов, а следовательно, и тип экономического роста можно по формуле

$$K_{и} = 1 - \frac{I_{пр} - 1}{I_{ВВП} - 1},$$

где $K_{и}$ – коэффициент интенсификации; $I_{пр}$ – индекс роста потребленных ресурсов; $I_{ВВП}$ – индекс роста валового внутреннего продукта.

Коэффициент интенсификации теоретически может быть в пределах от нуля до единицы. В первом случае экономический рост будет обусловлен только за счет экстенсивных факторов, а во втором – лишь за счет интенсивных факторов. Но поскольку в реальной действительности так не бывает, то практически данный коэффициент находится между этими двумя крайностями, т. е. он больше нуля, но меньше единицы. В целом при положительном значении коэффициента интенсификации можно говорить о преобладании интенсивного типа экономического роста. Отрицательное значение коэффициента интенсификации свидетельствует об экстенсивном типе экономического роста.

Проблема интенсификации экономического роста для нашей страны является особенно актуальной. Это обусловлено прежде всего тем, что в советский период экономика БССР была органической составной частью единого народно-хозяйственного комплекса Советского Союза. Получив в июле 1990 г. суверенный статус и став независимым государством, Республика Беларусь получила в наследство от бывшей большой страны ресурсорасточительный тип производственно-хозяйственной деятельности. Являясь своеобразным «сборочным цехом» в составе великой державы, страна располагала высокоразвитым металло-, энерго- и ресурсоемким производством. К тому же республика бедна полезными ископаемыми и поэтому вынуждена импортировать значительное количество топливно-энергетических и сырьевых ресурсов.

Чтобы обеспечить стабильный экономический рост, страна стремится к решению целого

ряда задач. Наиболее общими целями любой национальной экономики являются: повышение экономического потенциала страны; прирост потребления и совершенствование его структуры; увеличение массы потребляемых благ; удовлетворение платежеспособного спроса населения. В конечном счете, значимость экономического роста определяется тем, что экономика, которая стабильно развивается (без резких подъемов и падений), обладает, естественно, большими возможностями удовлетворять постоянно возрастающие потребности общества и решать социально-экономические и экологические проблемы страны.

Экономический рост оказывает существенное влияние на целый ряд важнейших макроэкономических процессов, как то:

1) стабильность цен (предполагается их рост не более 1 % в год);

2) уровень занятости населения (предполагается, что доля безработных не должна превышать 1 %, не считая уровня так называемой естественной безработицы – структурной и фрикционной, – которая является неизбежной);

3) равновесие внешнеторговых операций (предполагается положительный внешнеторговый баланс на уровне 1–2 % валового внутреннего продукта);

4) реальный ВВП (предполагается постоянный, равномерный и экологически безвредный рост объемов производства товаров и услуг, обеспечивающий рациональное неистощительное использование невозобновляемых природных ресурсов, восстановление и увеличение объемов возобновляемых ресурсов, сохранение окружающей среды как для нынешнего, так и для будущих поколений).

Данную систему показателей часто называют магическим четырехугольником. Это обусловлено тем, что эти показатели тесно взаимосвязаны между собой, поэтому изменения, происходящие в одном из них, неизбежно приводят к изменениям во всех остальных показателях. В то же время данная система параметров предполагает достижение труднодостижимых целей. В этом смысле она отражает идеальную ситуацию, к которой национальная экономика должна стремиться, хотя реально она нереализуема даже в самых благополучных странах. Поэтому каждый из этих параметров

на том или ином временном этапе может быть принят страной в качестве цели национальной экономики.

Экономика любой страны имеет свои темпы экономического роста, которые определяются множеством факторов. Выделяют внутренние и внешние факторы экономического роста. К внутренним факторам экономического роста можно отнести следующие:

1) природные ресурсы. Этот фактор характеризует обеспеченность национального хозяйства страны топливно-энергетическими и материально-сырьевыми ресурсами, а также земельными, лесными, водными и другими видами ресурсов. Данный фактор хотя и является необходимым, но не абсолютно очевидным. Во многих государствах богатые полезные ископаемые не используются эффективно. Располагая богатыми природными ресурсами, страна может не иметь средств для их освоения. В таком случае важный фактор экономического роста – внешнеэкономическая политика и привлечение иностранных инвестиций и кредитов. Мировой опыт свидетельствует, что государства, богатые природными ресурсами, как правило, не достигают высокого уровня социально-экономического развития. Такие страны либо начинают торговать природными ресурсами, превращаясь этим самым в сырьевую базу экономически развитых государств, либо применяют устаревшие материалоемкие технологии, отставая постепенно в техническом развитии. В то же время не обеспеченные природными ресурсами страны вынуждены разрабатывать и внедрять в производство ресурсосберегающие технологии, создавать наукоемкие производства и передовые отрасли обрабатывающей промышленности. Имеются государства, которые при минимальных природных ресурсах добиваются необычайно высоких темпов экономического роста, обеспечивая высокий уровень социально-экономического развития (Япония, Южная Корея, Германия, Швейцария и др.).

В Республике Беларусь сдерживающими факторами экономического роста являются ограниченность собственной сырьевой и топливно-энергетической базы, высокая ресурсоемкость экономики. Отсюда сильная зависимость от поставок сырья, материалов, топлива, комплектующих изделий из России и других

стран СНГ. Например, собственная добыча нефти (около 2 млн т) удовлетворяет только 15 % внутренних потребностей, 70 % импорта страны составляют топливо, сырье и материалы, которые в основном используются для промежуточного потребления при выпуске конечной продукции.

В этой связи с целью наилучшего использования природно-сырьевых ресурсов необходимы наиболее полное извлечение сырья, его глубокая и комплексная переработка, а также снижение материалоемкости продукции и энергоемкости производства;

2) трудовые ресурсы. Этот фактор характеризует не только количество, но и качество рабочей силы, под которой понимается уровень образования, профессиональной подготовки, экономического мышления, дисциплинированности, инициативности, физического и психологического здоровья, всесторонней мобильности и т. д. Накопленный запас навыков, знаний, способностей, которыми обладает человек, характеризуется понятием «человеческий капитал». По оценкам экспертов, доля человеческого капитала в национальном богатстве Республики Беларусь составляет более 55 %. Это выше, чем в любой другой стране СНГ. Однако в составе национального богатства нашей страны он пока не учитывается, хотя согласно расширенной концепции национального богатства Всемирного банка и МВФ человеческий капитал должен включаться в состав национального богатства страны.

Уровень трудовых ресурсов Республики Беларусь в рамках СНГ признается довольно высоким. В то же время по стандартам развитых стран для рабочих профессий он еще не совсем удовлетворителен. Неслучайно поэтому западные фирмы, имеющие производство в Беларуси, предпочитают в качестве рабочих привлекать местных специалистов с высшим и средним специальным образованием. Здесь необходимо иметь в виду, что интегральным показателем эффективности использования трудовых ресурсов является рост производительности труда, т. е. увеличение выпуска продукции в расчете на одного занятого в производстве;

3) предпринимательские способности населения. Данный фактор предполагает наличие

у определенной части населения необходимых для предпринимателя качеств (трудолюбие, инициативность, преданность национальным интересам и т. д.). Принято считать, что в развитых странах доля таких людей составляет до 10 % экономически активного населения.

В Республике Беларусь более 5 % занятых в народном хозяйстве относятся к сфере индивидуального частного предпринимательства. Однако предпринимательство в республике (как, впрочем, и в других странах СНГ) имеет место преимущественно в сфере товарного и денежного обращения: торгово-закупочная деятельность, прозванная в народе «купи-продай», банки, финансовые компании и т. п.

Для повышения эффективности использования предпринимательских способностей человека в нашей стране, по мнению специалистов, необходимы не только совершенствование законодательства в данной сфере деятельности и государственное поощрение такой деятельности, но и повышение требований к предпринимателям по цивилизованному ведению дел и соблюдению элементарных правил: качество продукции и услуг, гарантийные обязательства производителей, ответственность субъектов хозяйствования и средств массовой информации за рекламу сомнительного и социально опасного бизнеса (пиво, водка, сигареты и т. д.).

Показателем использования данного фактора экономического роста в стране является повышение эффективности общественного производства;

4) основные производственные фонды страны, их количество и качество. Сюда относятся средства труда (основной капитал), многократно участвующие в процессе производства и переносящие свою стоимость на готовый продукт по частям, т. е. по мере их износа. Пороговое значение индикатора инвестиций в основной капитал, согласно классификации ООН, должно составлять не менее 20 % от объема валового внутреннего продукта.

Количественным показателем данного фактора экономического роста является цена единицы производственной мощности, т. е. одного рабочего места. Способ наилучшего его использования предполагает совершенствование технологии и организации производства с целью

увеличения фондоотдачи, повышения качества продукции, роста производительности труда;

5) научно-технический прогресс. Он характеризуется:

а) появлением принципиально новых достижений науки, техники, что способствует экономическому росту на интенсивной основе за счет возникновения малоотходных и безотходных технологий;

б) появлением новых источников энергии;

в) повышением производительности труда.

Кроме того, происходит формирование работника нового типа, т. е. культурного и образованного, дисциплинированного и инициативного, способного эксплуатировать сложные технико-информационные системы;

б) совокупный спрос. Он показывает общий объем товаров и услуг, который население, предприятия (фирмы) и правительство (государство) готовы купить при любом возможном уровне цен в определенный период времени.

Объем совокупного спроса определяется в стоимостном (денежном) выражении. Он определяет емкость внутреннего рынка страны (если абстрагироваться от экспорта). Для лучшего использования данного фактора необходимо его поощрение путем снижения цен (за счет роста показателей эффективности производства), сокращения инфляции, развития кредитной системы и т. д.;

7) инвестиции. Это основной ресурс экономического роста. Без его постоянного и возрастающего притока в экономику страны невозможно обеспечить не только расширенное, но даже простое воспроизводство;

8) институциональная среда. Она характеризуется системой государственных и негосударственных социальных, финансовых, экономических и экологических институтов, с помощью которых осуществляется регулирование экономического роста.

Внешние факторы экономического роста включают:

- международное разделение труда, а также процессы глобализации, когда главные экономические субъекты – транснациональные компании и другие предприятия – не только расширяют свою деятельность за пределами национальных границ, но и разрабатывают глобальную стратегию своего развития. Они стимулируют

экономический рост благодаря привлечению современных технологий, зарубежных инвестиций и кредитов;

- политические факторы. Создание политических, экономических союзов, блоков различных стран, которые могут затормозить (различного рода эмбарго и т. п.) или ускорить экономический рост, предоставление или непредоставление режима наибольшего благоприятствования, принятие или непринятие страны в тот или иной торгово-политический союз (ЕС, ВТО), объявление торговой войны и т. д.

Приведенные выше факторы экономического роста вовсе не являются исчерпывающими. Таких факторов может быть выделено великое множество. Действия некоторых из них могут уравновешивать друг друга или усиливаться, тормозиться за счет других факторов и т. д. Влияние некоторых факторов вообще трудно поддается определению. Поэтому, когда речь идет о факторах экономического роста, то, как правило, принимаются во внимание прежде всего те из них, которые на практике всегда результативны и предсказуемы. Поскольку данные факторы обеспечивают возможность физического увеличения объема национального производства, то их принято называть факторами предложения.

Кроме факторов выделяют и источники экономического роста, главными из которых являются:

- количественное наращивание факторов труда, капитала, природных ресурсов, т. е. за счет экстенсивных факторов;

- рост совокупной производительности факторов производства (рабочей силы и средств производства) на основе научно-технического прогресса.

По подсчетам ученых, основная часть увеличения выпуска продукции на 1 чел.-ч связана с техническим прогрессом, который обуславливает одну треть роста выпуска, т. е. за счет интенсивных факторов.

Таким образом, рассматривая экономический рост в его связи с факторами предложения, можно сделать вывод, что увеличение валового внутреннего продукта определяется и наращиванием ресурсов, с одной стороны, и повышением эффективности их использования, с другой. Первое требует расширения

экстенсивных факторов роста предложения, а второе выдвигает на первый план интенсивные факторы его расширения.

Исходя из теории расширенного воспроизводства, экономический рост зависит в первую очередь от влияющих на него факторов, как то: количества, качества и эффективности использования ресурсов (основных средств, оборотного капитала, рабочей силы), а также от уровня применяемых технологий.

К одной из тенденций, сложившихся в экономике развитых стран к началу XXI в., следует отнести уже начавшееся изменение технико-технологического способа производства благ, в результате которого на смену машинно-индустриальному способу, господство которого продолжалось больше двух столетий, идет новый – научно-информационный уклад. Его ядром являются электронная промышленность, телекоммуникации, оптоволоконная техника и т. п., а символом – компьютер и Интернет. Изменение технико-технологической базы (уклада) влечет существенные изменения в экономике в целом.

В условиях жесткой конкурентной борьбы, характерной для глобализирующейся экономики, конкурентоспособность страны (субъектов хозяйствования, фирм) обеспечивает экономическую устойчивость и возможность развития.

Национальная конкурентоспособность – это способность страны и ее институтов обеспечивать стабильные темпы экономического роста, которые были бы устойчивы в среднесрочной перспективе [2, с. 23].

А среди факторов конкурентоспособности на первое место отчетливо выдвинулись инновации и скорость их осуществления. Отсюда следует, что в современном мире инновации есть объективное требование выживаемости и развития экономики.

Неслучайно поэтому в Программе социально-экономического развития Республики Беларусь на 2016–2020 гг. особо подчеркивается тезис о том, что повысить конкурентоспособность национальной экономики можно лишь на основе активной инновационной стратегии, а восстановление экономического роста предполагается обеспечить за счет активной модернизации базовых отраслей и ускоренного формирования новых высокотехнологических секторов эко-

номики. При этом ядром инновационно ориентированной экономики станут для нашей страны высокотехнологичные производства, создаваемые в индустриальном парке «Великий камень», Парке высоких технологий, Национальной академии наук Беларуси, других инновационных индустриальных научно-технологических структурах [3, с. 28].

Для социально ориентированной экономики необходимость инновационного развития становится еще более жесткой, так как требуются дополнительные возможности и средства для приоритетного развития социальной среды, которая также должна отличаться инновационностью.

Именно инновационный эффект (быстрота обновляемости товаров, появление совершенно новых услуг, новизна применяемых технологий и т. д.) дает возможность национальной экономике успешно участвовать в международной конкуренции. Учет таких изменений особенно важен для открытой национальной экономики, следовательно, и для экономики Республики Беларусь. В трансформируемых экономиках темпы и факторы экономического роста реального сектора экономики являются особенно важными для достижения макроэкономической стабилизации и устойчивости.

Инновационная модель экономического роста является разрешением основного противоречия экономики – между ограниченностью производственных ресурсов и безграничностью общественных потребителей. Эффективный экономический рост должен опираться на объективные устойчивые предпосылки и стимулы, а также быть составной частью долгосрочной стратегии социально-экономического развития страны. В связи с этим приобретает особую значимость активная инновационная политика, проводимая в целях обеспечения национальных приоритетов ускоренного развития экономики. Инновационно-инвестиционный путь – как раз то направление развития, через реализацию которого страна сможет обеспечить свои стратегические цели.

Инновационный потенциал – это совокупность всех видов ресурсов и условий обеспечения практического освоения результатов научных исследований и разработок, повышающих эффективность способов и средств осуществ-

ления конкретных процессов, включая освоение в производстве новой продукции и технологии. Он тесно связан с научным и научно-техническим потенциалом страны, составляя вместе с ними единый научно-инновационный цикл: зарождение идеи – фундаментальные исследования – прикладные исследования – опытно-конструкторские и опытно-технологические разработки – опытный образец – промышленные испытания – освоение в производстве – серийный выпуск – коммерческая реализация – практическая эксплуатация продукции (машины, приборы, технологии и т. д.). Инновация при этом выступает как конечный результат инновационной деятельности. Она предполагает создание и внедрение различного вида новшеств, порождающих значимые изменения в социальной практике. Результат инновации воплощается в виде нового или усовершенствованного продукта, внедренного на рынке, нового или усовершенствованного технологического процесса, используемого в практической деятельности, нового подхода к социальным услугам, нового организационно-технического решения производственного, административного, коммерческого или иного характера и т. д. Инновация должна обладать новизной, удовлетворять рыночный спрос, приносить производителю прибыль.

Для Республики Беларусь инновационная продукция – новая продукция (работы, услуги), которая в течение последних трех лет подвергалась в значительной степени технологическим изменениям. Это может быть уже существующая на территории страны продукция, но получившая новое обозначение или определение в связи со значительной степенью усовершенствования или модификацией ее свойств, параметров, признаков или характеристик, а также измененной областью применения, новым или в значительной степени отличающимся в сравнении с ранее выпускающейся продукцией (работами, услугами) составом применяемых материалов или компонентов.

Для нашей страны, имеющей ограниченные природные ресурсы, роль научно-технической и инновационной деятельности является решающей в обеспечении не только экономической, но и национальной безопасности в целом. Согласно Концепции национальной безопасности Республики Беларусь, основными нацио-

нальными интересами в научно-технологической сфере являются: формирование экономики, основанной на знаниях; обеспечение развития науки и технологий как базы устойчивого инновационного развития Республики Беларусь; создание новых производств, секторов экономики передовых технологических укладов; интенсивное технологическое обновление базовых секторов экономики и внедрение передовых технологий во все сферы жизнедеятельности общества; расширение присутствия Беларуси на мировом рынке интеллектуальных продуктов, наукоемких товаров и услуг; взаимовыгодное международное научно-технологическое сотрудничество и привлечение в экономику страны технологий мирового уровня [4, с. 9].

Основным показателем развития научной деятельности для межстрановых сопоставлений принята наукоемкость валового внутреннего продукта. Она определяется по доли затрат в нем на исследования и научные разработки. В Республике Беларусь в последние годы отношение затрат на научные исследования и разработки по отношению к ВВП уменьшается при одновременном росте последнего и составляет около 0,5 %. Это меньше, чем 15 лет тому назад. В 2000 г. данный показатель составлял 0,72 % от ВВП. За это время произошло значительное сокращение численности персонала, занятого научными исследованиями и разработками. Если в 2000 г. численность персонала составляла 32926 человек, то в 2015 г. – 26153 [5, с. 384].

Наша страна имеет существенное отставание от ведущих европейских государств по финансированию научных исследований и разработок со стороны как государства, так и коммерческих организаций. Вклад коммерческого сектора в республике в 3–5 раз ниже, чем во Франции, Австрии, Германии, Дании, Финляндии. Доля малых и средних инновационных предприятий, осуществляющих технологические инновации, составляет в Беларуси всего 3,5 %. По этому показателю наиболее заметно отставание нашей страны от европейских государств, где он во много раз выше [6, с. 22].

Величина наукоемкости ВВП считается критической, если она составляет не более 1 %. Для получения экономической отдачи от инвестиций в научные исследования и разработки наукоемкость ВВП должна быть не ме-

нее 1,5–2,0 %. В экономически развитых государствах данный показатель составляет 2–3 % от уровня ВВП. Естественно, что для нашей страны это является сдерживающим фактором для ускоренной разработки передовых отечественных технологий, в то время как потребность в технологической и структурной модернизации производства остается крайне высокой.

Недофинансирование и низкая заработная плата в научной сфере привели более чем к трехкратному (по сравнению с 1990 г.) сокращению объема исследований и разработок, а также количества выполнявших их работников. Их число в расчете на 1 млн жителей стало существенно меньше, чем в экономически развитых странах: в 1,9 раза – чем в России, в 2 раза – чем в Швеции, в 2,6 раза – чем в Японии [7, с. 735–736].

На протяжении нескольких десятков лет в стране сохраняется преимущественно низкотехнологичная структура. Так, доля высокотехнологичного сектора в 2015 г. составляла лишь 3,2 %, а низкотехнологичных производств – более 33 %. В итоге имеет место почти трехкратное отставание от уровня развитых стран по доле высоких технологий и 4–5-кратное по уровню производительности труда в промышленности [8, с. 11].

Согласно разработанной в 2014 г. концепции новой Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь до 2030 г., повышение затрат на научные исследования и разработки должно достигнуть к указанному сроку 2,5 % ВВП, а удельный вес инновационной продукции в общем объеме отгруженной промышленной продукции должен вырасти до 25 % [9, с. 34].

Переход к постиндустриальному обществу резко актуализировал проблему человеческого фактора и связанного с ней гуманизма. Главным ресурсом и фактором, создающим богатство в такой экономике, является интеллект, а его субъектом и носителем – человек. Это неизбежно выдвигает на первый план гуманизацию и социальную справедливость как объективную необходимость дальнейшего существования и развития общества.

Человеческий капитал представляет собой имеющийся у каждого запас знаний, навыков, мотиваций. Инвестициями в него могут быть образование, накопление профессионального опыта, охрана здоровья, географическая мобильность и т. д. Человеческий капитал – это

знания и навыки, накопленные человеком в результате обучения и предыдущей трудовой деятельности и влияющие на предельную доходность данного фактора производства. Величина этого капитала непосредственно зависит от уровня образованности – как общей, так и профессиональной. Чем выше этот уровень, тем более ценные для нанимателей виды работ может выполнять тот или иной человек. Новизна инновационной экономики XXI в. заключается в том, что ныне важнейшей составляющей социально-экономического развития страны становятся не любые знания и информация, а только те, овладение которыми требует качественного образования [10, с. 6].

Целесообразно используемые в той или иной сфере составляющие человеческого капитала способствуют научно-техническому и социальному прогрессу общества, устойчивому экономическому развитию. Именно человеческий капитал является одним из главных факторов, обеспечивающих переход к V и VI технологическим укладам, лежащим в основе формирования нового постиндустриального общества.

Знания становятся главным ресурсом, главным источником богатства как фирм, так и общества в целом. Новые знания и информационные технологии производят революционный сдвиг не только в непосредственном производстве товаров, но и в непроизводственном секторе: в образовании, здравоохранении, финансах, торговле и т. п. Во многих товарах в их стоимости главную часть составляют затраты не на материалы, сырье, станки и т. п., а на исследования и информацию. В новой экономике покупают в основном сконцентрированные в оболочке знания.

Без формирования нового представления о человеке в новой экономике невозможно рассматривать и изучать другие вопросы. Ведь именно человек здесь «ядро» экономики, поскольку он становится источником и собственником отныне главного для экономики ресурса – интеллектуального. В современных условиях человек непосредственно выступает как цель прогресса, а уровень человеческого развития отражает меру зрелости общества, государства и его социально-экономической политики.

ВЫВОДЫ

1. Экономический рост характеризуется прежде всего количественными показателями (рост

объемов производства, ВВП и т. д.). Увеличивая богатства страны, он этим самым расширяет ее потенциальные возможности для решения многих социальных вопросов, включая борьбу с бедностью.

2. Если раньше основными факторами экономического роста экономическая наука считала землю, труд и капитал, то в XXI в. речь уже идет об экономике, основанной на знаниях, где все более важную роль играют инновации, предпринимательская инициатива, цифровая экономика и информация.

3. В условиях Республики Беларусь, которая располагает значительным научным потенциалом, но не имеет достаточной сырьевой базы, переход на инновационный путь – это не только необходимое условие дальнейшего развития национальной экономики, но и стратегическая линия развития страны, не имеющая достойной альтернативы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шимова, О. С. Устойчивое развитие / О. С. Шимова. Минск: БГЭУ, 2010, 432 с.
2. Шмаровская, Г. А. Конкурентоспособность Республики Беларусь в мировой экономике / Г. А. Шмаровская // Белорусский экономический журнал. 2016. № 1. С. 22–41.
3. Программа социально-экономического развития Республики Беларусь на 2016–2020 гг. [Электронный ресурс] // Совет Министров Респ. Беларусь. Режим доступа: http://www.government.by/upload/docs/program_ek2016-2020.pdf. Дата доступа: 27.12.2016.
4. Концепция национальной безопасности Республики Беларусь. Минск: Белорусский дом печати, 2011, 47 с.
5. Статистический ежегодник Республики Беларусь, 2016. Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2016. 518 с.
6. Сидор, А. С. Современное состояние и предпосылки инновационного развития регионов Беларуси / А. С. Сидор // Экономический бюллетень Научно-исследовательского экономического института Министерства экономики Республики Беларусь. 2016. № 6. С. 22–32.
7. Национальная экономика Беларуси / В. Н. Шимов [и др.]. Минск: БГЭУ, 2009. 752 с.
8. Червяков, А. В. Сдерживающие факторы развития и инструменты обеспечения устойчивого роста экономики / А. В. Червяков // Экономический бюллетень Научно-исследовательского экономического института Министерства экономики Республики Беларусь. 2016. № 12. С. 9–17.
9. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 г. // Экономический бюллетень Научно-исследовательского экономического института Министерства экономики Республики Беларусь. 2015. № 4. С. 6–99.

10. Червяков, А. В. Приоритеты национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2030 года / А. В. Червяков, Л. С. Боровик // Экономический бюллетень Научно-исследовательского экономического института Министерства экономики Республики Беларусь. 2016. № 6. С. 4–11.

Поступила 18.04.2017

Подписана в печать 20.04.2017

Опубликована онлайн 28.11.2017

REFERENCES

1. Shimova O. S. (2010) *Sustainable Development*. Minsk, Belarus State Economic University. 432 (in Russian).
2. Shmarovskaya G. A. (2016) Competitiveness of Belarus in the World Economy. *Belorussky Ekonomichesky Zhurnal = Belarusian Economic Journal*, (1), 22–41 (in Russian).
3. Belarus' Social and Economic Development Program for 2016–2020. *Council of Ministers of the Republic of Belarus*. Available at: http://www.government.by/upload/docs/program_ek2016-2020.pdf. (Accessed 27 December 2016) (in Russian).
4. *National Security Concept of the Republic of Belarus*. Minsk, Belarusian Publishing House, 2011. 47 (in Russian).
5. *Statistical Yearbook of the Republic of Belarus, 2016*. Minsk, National Statistical Committee of the Republic of Belarus, 2016. 518 (in Russian).
6. Sidor A. S. (2016) Contemporary State and Prerequisites for Innovation Development of Regions in Belarus. *Ekonomicheskii Byulleten' Nauchno-Issledovatel'skogo Ekonomicheskogo Instituta Ministerstva Ekonomiki Respubliki Belarus'* [Economic Bulletin of Scientific-Research Economic Institute of Ministry of Economy of the Republic of Belarus], (6), 22–32 (in Russian).
7. Shimov V. N., Aleksandrovich Ya. M., Bogdanovich A. V., Kryukov L. M., Rogach P. I., Sokolovskii N. K. (2009) *National Economy of Belarus*. Minsk, Belarus State Economic University. 752 (in Russian).
8. Tchervyakov A. V. (2016) Constraining Factors of Development and Tools That Provide Sustainable Growth in Economy. *Ekonomicheskii Byulleten' Nauchno-Issledovatel'skogo Ekonomicheskogo Instituta Ministerstva Ekonomiki Respubliki Belarus'* [Economic Bulletin of Scientific-Research Economic Institute of Ministry of Economy of the Republic of Belarus], (12), 9–17 (in Russian).
9. National Strategy of the Republic of Belarus for Sustainable Socio-Economic Development for the Period Until 2030. *Ekonomicheskii Byulleten' Nauchno-Issledovatel'skogo Ekonomicheskogo Instituta Ministerstva Ekonomiki Respubliki Belarus'* [Economic Bulletin of Scientific-Research Economic Institute of Ministry of Economy of the Republic of Belarus], 2015, (4), 6–99 (in Russian).
10. Tchervyakov A. V., Borovik L. S. (2016) Priorities of National Strategy of the Republic of Belarus for Sustainable Development for the Period Until 2030. *Ekonomicheskii Byulleten' Nauchno-Issledovatel'skogo Ekonomicheskogo Instituta Ministerstva Ekonomiki Respubliki Belarus'* [Economic Bulletin of Scientific-Research Economic Institute of Ministry of Economy of the Republic of Belarus], (6), 4–11 (in Russian).

Received: 18.04.2017

Accepted: 20.04.2017

Published online: 28.11.2017

DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-6-526-531

УДК 338.2 (476)+316.42 (476)

Проблемы согласования целей и жизненных интересов при обеспечении социально-экономической безопасности

Канд. экон. наук Д. Н. Швайба¹⁾

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

© Белорусский национальный технический университет, 2017
Belarusian National Technical University, 2017

Реферат. Становление независимого демократического белорусского государства неразрывно связано с преобразованиями всех сторон общественной жизни и в первую очередь экономики. Экономические реформы в Беларуси направлены на создание социально ориентированной рыночной системы хозяйствования, при которой обеспечивалось бы максимально эффективное использование ресурсов при минимальных социальных издержках. В социальной экономике понятия «равенство» и «бедность» являются базовыми. На их основе строится социальное обеспечение, роль которого в любом государстве сводится к тому, чтобы уменьшить бедность и увеличить равенство. В современном мире бедность однозначно ассоциируется с низким уровнем экономического развития, и ее ликвидация является первым шагом на пути к экономическому росту. Что касается неравенства, то столь явной связи с экономическим развитием не прослеживается. Существуют различные теории, объясняющие влияние неравенства на экономический рост. Однако они не могут считаться удовлетворительными, поскольку предсказывают прямо противоположные результаты. В ряде исследований безопасность универсально постулирована как состояние защищенности жизненно важных интересов личности, общества и государства от внутренних и внешних угроз. К жизненно важным интересам отнесена совокупность потребностей, удовлетворение которых надежно обеспечивает существование и возможности прогрессивного развития личности, общества и государства – основных объектов безопасности. Для любой социально-экономической системы наличие иерархической структуры организации самой системы или ее подсистем является неотъемлемым свойством. Экономика – это полииерархическая система. При рассмотрении иерархической структуры управления производством важно учесть одно свойство экономической системы – неполноту информации.

Ключевые слова: безопасность, государство, общество, предприятие, работник, угроза, интересы, экономика, эффективность, система хозяйствования, равенство, неравенство, бедность, иерархия

Для цитирования: 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. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-6-526-531

Problems in Harmonization of Goals and Vital Interests while Ensuring Socio-Economic Security

D. N. Shvayba¹⁾

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

Abstract. Formation of an independent democratic Belarusian state is inextricably linked with transformations in all aspects of public life and, first of all, in economy. Economic reforms in Belarus are directed on creation of socially oriented market economic system, which will ensure the most efficient usage of resources at minimum social cost. In the social economy concepts of “equality” and “poverty” are considered as basic ones. Social security services are based on these concepts and role of the social security in any country is to reduce poverty and increase equality. In modern world poverty is uniquely associated with a low level of economic development and its eradication is the first step on the path to economic growth.

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

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

As for inequality, such clear connection of this concept with economic development can not be traced. There are various theories explaining the impact of inequality on economic growth. However, they cannot be considered satisfactory because they predict opposite results. Several studies have universally postulated a security as protection of vital interests of a human being, society and State from internal and external threats. Vital interests comprise a set of needs and satisfaction of these needs reliably ensures existence and possibility of progressive development of a human being, society and State which are the main objects of the security. Presence of a hierarchical structure for organization of the system or its subsystems is an essential feature for any socio-economic system. The economy is a poly-hierarchical system. When considering the hierarchical structure of production management it is important to consider one property of the economic system that is incompleteness of information.

Keywords: security, government, society, enterprise, employee, threat, interests, economics, efficiency, management system, equality, inequality, poverty, hierarchy

For citation: Shvayba D. N. (2017) Problems in Harmonization of Goals and Vital Interests while Ensuring Socio-Economic Security // *Science and Technique*. 16 (6), 526–531. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-6-526-531

Введение

Становление независимого демократического белорусского государства неразрывно связано с преобразованиями всех сторон общественной жизни и в первую очередь экономики. Экономические реформы в Беларуси направлены на создание социально ориентированной рыночной системы хозяйствования, при которой обеспечивалось бы максимально эффективное использование ресурсов при минимальных социальных издержках. Опыт последних десятилетий показывает, что достигнуть этой двуединой цели непросто, но, очевидно, лишь в таком случае в стране можно обеспечить высокий уровень благосостояния, низкий уровень бедности и устойчивость политической системы [1, с. 68].

Постановка задачи

В социальной экономике понятия «равенство» и «бедность» являются базовыми. На их основе строится социальное обеспечение, роль которого в любом государстве сводится к тому, чтобы уменьшить бедность и увеличить равенство. Однако эти понятия не являются тождественными. В обществе с высоким уровнем неравенства может быть очень низкая бедность и наоборот. Бедность определяется наличием жизненных условий для некоторых членов общества, не удовлетворяющих минимальным принятым стандартам. По единодушному мнению экономистов, бедность – безусловное зло, и поэтому с ней необходимо бороться [2, с. 29]. По отношению к равенству столь единодушного мнения не существует. Прежде всего, определение «равенства» довольно расплывчатое, что дает возможность его широкого толкования и затрудняет точное установление степени неравенства в обществе.

В [3, с. 97] равенство определяется как предоставление всем членам общества равных возможностей. В этой связи мнения относительно выбора социальной политики, направленной на увеличение равенства, расходятся. Социалисты, трактующие неравенство в более узком смысле – как имущественное неравенство, – считают, что это такое же негативное явление, как и бедность, поскольку оно ведет к социальной напряженности и препятствует развитию способностей индивидов, относящихся к бедным слоям населения. Поэтому государство должно прилагать значительные усилия и тратить ресурсы для снижения неравенства. Результатом такой политики являются прогрессивное налогообложение доходов, высокие налоги на наследство, а также широкий спектр социальных программ [4–6], предназначенных для малоимущих слоев населения. В свою очередь, либералы, понимающие равенство в более широком смысле, настаивают, что вмешательство государства в экономическую деятельность агентов является нарушением принципа равенства, поскольку государство в этом случае отбирает часть дохода у более предприимчивых членов общества и таким образом пресекает проявление частной инициативы. По мнению либералов, подобная практика может привести к замедлению экономического роста, в результате чего проиграют все: и богатые, и бедные. Поэтому либералы выступают за более умеренные социальные программы, направленные исключительно на уменьшение бедности [7, с. 73; 8, с. 36; 9, с. 299].

Здесь необходимо пояснить, каким образом измеряется неравенство. Так как непосредственное применение определения неравенства в данном случае не подходит, то для измерения приходится брать более узкую трактовку,

а именно – имущественное неравенство. В качестве индикатора неравенства используется распределение общего дохода между индивидами в экономике. Наглядное представление о неравенстве в экономике дает кривая Лоренца, изображенная на рис. 1. По оси абсцисс откладывается доля населения, а по оси ординат – доля дохода в экономике. Кривая Лоренца показывает, какая доля дохода приходится на соответствующую долю населения. К примеру, на рис. 1 видно, что 40 % населения получают менее 20 % общего дохода. Ситуации полного равенства будет соответствовать кривая Лоренца, совпадающая с диагональю. Чем выше степень неравенства, тем больше отклонение кривой от диагонали. Для количественного описания неравенства используется коэффициент Джини – отношение площади области *OEDCBAO* к общей площади треугольника *OEF*. При полном равенстве коэффициент Джини равен нулю.

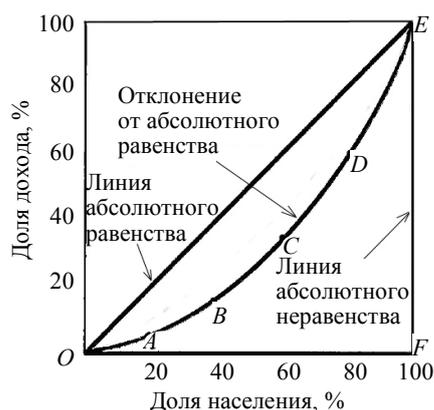


Рис. 1. Кривая Лоренца

Fig. 1. Lorentz curve

В современном мире бедность однозначно ассоциируется с низким уровнем экономического развития, и ее ликвидация является первым шагом на пути к экономическому росту. Что касается неравенства, то столь явной связи с экономическим развитием не прослеживается. Существуют различные теории, объясняющие влияние неравенства на экономический рост. Однако они не могут считаться удовлетворительными, так как предсказывают прямо противоположные результаты. Тем не менее эмпирические исследования показывают существование связи между неравенством и экономическим развитием. Впервые на этот факт обратил внимание экономист С. Кузнец (S. Kuz-

nets) в 1955 г. Он показал, что экономическое развитие вначале ведет к увеличению неравенства, а затем к его уменьшению. Эта зависимость получила название кривой Кузнецца, или обратной U-кривой. Впоследствии множество исследований подтвердили существование этой зависимости как для развитых, так и для развивающихся стран.

Теоретическое обоснование кривой Кузнецца состоит в следующем. Рассматривается двухсекторная экономика, в которой первая отрасль (например, сельское хозяйство) более отсталая в технологическом отношении, чем вторая (промышленное производство). Первоначально первая отрасль является преобладающей в экономике. Так как население занято преимущественно в этом секторе, у всех доходы оказываются примерно равными, и в стране устанавливается относительное равенство. Однако постепенно в экономике возрастает доля второго сектора, а из-за большей производительности труда в ней устанавливается более высокая зарплата, что способствует перетоку туда рабочей силы. При этом предполагается, что зарплата во второй отрасли может быть не столь однородна, как в первой. Это объясняется тем, что в отрасль вначале происходит приток неквалифицированной рабочей силы. Данные факторы способствуют росту неравенства как в экономике в целом, так и во второй отрасли по мере ее развития.

Процесс продолжается до тех пор, пока в первой отрасли не остается мало рабочих, что ведет к повышению заработной платы. Кроме того, экономическое развитие, связанное с успехами во второй отрасли, может способствовать повышению производительности труда в первом секторе экономики, что также вносит вклад в повышение заработной платы. По прошествии времени рабочие, перешедшие из первой отрасли во вторую, получают необходимые профессиональные навыки, повышается их квалификация, что способствует увеличению их дохода. В результате в экономике снижается неравенство и растет общее благосостояние. Данный процесс обеспечивает рост социально-экономической безопасности.

Отсюда основная функция обеспечения социально-экономической безопасности состоит в том, что состояние и тенденции развития, обеспечивающие социально-экономическую

безопасность, исключают или минимизируют ущерб не только потенциала отдельных предприятий, но и потенциала экономики в целом.

В ряде исследований безопасность универсально постулирована как состояние защищенности жизненно важных интересов личности, общества и государства от внутренних и внешних угроз. К жизненно важным интересам отнесена совокупность потребностей, удовлетворение которых надежно обеспечивает существование и возможности прогрессивного развития личности, общества и государства – основных объектов безопасности [10, с. 9; 11, с. 508].

Для любой социально-экономической системы наличие иерархической структуры организации самой системы или ее подсистем является неотъемлемым свойством. Экономика – это полииерархическая система. При рассмотрении иерархической структуры управления производством важно учесть одно свойство экономической системы – неполноту информации. Здесь обычно принято ссылаться на теоремы К. Геделя (1931). В них дана качественная характеристика неполноты информации.

Первая теорема Геделя. Для любой системы A не все истинные положения доказуемы в пределах A .

Вторая теорема Геделя. Непротиворечивость формальной системы A нельзя доказать средствами этой системы.

Для экономической системы теоремы Геделя трактуются следующим образом [12, с. 639]: в рамках экономической системы предприятия невозможно обосновать ее целевую функцию, если не учитывать требования более высокого уровня – народного хозяйства. В противном случае народно-хозяйственные потери неминуемы. Другими словами, подсистемы не могут работать эффективно, если не учтены интересы включающей системы. Более того, без соблюдения субординации экономических интересов подсистема может нанести значительный вред всей системе. Нарушение требований субординации, соподчиненности социально-экономических интересов может привести к разрушению не только включающей системы, но и включенной, поскольку нельзя обосновать непротиворечивость включенных систем, если не апеллировать к системе более высокого порядка. Скорость движения системы во многом зависит

от синхронизации социально-экономических интересов ее подсистем и интересов управляющей системы более высокого порядка.

В публикации А. В. Колупаева [13], со ссылкой на работу российского экономиста С. А. Афонцева, уточняется, что понятие «безопасность» заимствовано из теории международных отношений и относится только к системам, в которых функционируют субъекты принятия политических решений. Между тем большинство ученых сейчас применяют понятие «безопасность» к субъектам как макроэкономики, так и микроэкономики [14, с. 7].

В этой связи социально-экономическую безопасность также необходимо рассматривать как взаимосвязанную систему ее различных уровней: международного, национального, уровня отдельно взятой хозяйственной структуры, личности.

Под международной социально-экономической безопасностью понимается такое состояние мировой экономики, при котором обеспечиваются взаимовыгодное сотрудничество стран в решении национальных и интернациональных проблем хозяйствования, свободный выбор и осуществление ими своей стратегии социально-экономического развития и участия в международном разделении труда. Предполагается, что международная социально-экономическая безопасность обеспечивается с помощью созданной мировым сообществом системы международных экономических организаций: МВФ, МБРР, ВТО, ФАО и др. Важную роль в обеспечении мировой социально-экономической безопасности должны играть партнерские соглашения о свободном движении капиталов, товаров и услуг, учет взаимных социально-экономических интересов, отказ от силового давления, равноправные отношения с менее развитыми в экономическом отношении странами.

Социально-экономическую безопасность страны характеризует система показателей, которая включает способность экономики функционировать в режиме расширенного воспроизводства, устойчивость финансовой системы, рациональную структуру внешней торговли, поддержание на требуемом уровне научного потенциала, сохранение единого экономического пространства, создание экономических

и правовых условий, исключаящих криминализацию общества, обеспечение необходимого государственного регулирования социально-экономических процессов, обеспечение приемлемого уровня жизни населения.

Важными условиями и элементами в обеспечении нормального функционирования предприятия являются оценка и управление социально-экономическими рисками, а также общее состояние экономики.

К сожалению, сегодня действует такой экономический механизм управления, при котором, например, повышение эффективности производства не является предпосылкой реализации народно-хозяйственных интересов. Здесь наблюдается недостаточность взаимосвязи между народно-хозяйственными интересами и интересами предприятия. Почему так происходит? До сих пор в системе экономического управления нет четкого разделения функций органов управления, которые отражали бы специфику структуры социально-экономических интересов. Отсутствует организационная целостная система (с сильными взаимосвязями между выбранными элементами), которая идентифицировала бы народно-хозяйственные и национальные социально-экономические интересы и несла бы за это экономическую ответственность (следует подчеркнуть, что вопрос социально-экономической ответственности сегодня стоит крайне остро). И это притом что еще в 1965 г. С. Кузнец написал работу [15], в которой обосновал, что наиболее важны вложения в человеческое развитие, а это – наиболее важный капитал среди других факторов производства. Если взять первую работу одного из создателей теории человеческого капитала Т. Шульца [16, с. 12] (работа Гэрри Беккера вышла даже позже), можно увидеть, что С. Кузнец мыслил в том же русле и видел определяющее будущее именно этого фактора производства. Но до сих пор в отечественной литературе об инвестициях и инновациях доминирует технократический подход, а человеческий капитал зачастую не упоминается.

Макроэкономические интересы представлены в виде абстрагированных рекомендаций вышестоящих органов нижестоящим. Разрозненные государственные органы управления не представляют собой целостную систему управ-

ления, вступившую в социально-экономические отношения с самостоятельными предприятиями с разными формами собственности. В этой ситуации предприятия в основном заняты реализацией своих текущих интересов, которые берут верх над перспективными национальными интересами.

Под социально-экономической безопасностью личности понимается такое состояние жизнедеятельности человека, при котором обеспечиваются правовая неэкономическая защита его жизненных интересов, соблюдение конституционных прав и обязанностей. Наиболее серьезными видами угроз личности являются: нарушение прав потребителя, невыплата пенсий и заработной платы, безработица, невосполнимое обесценение сбережений и др. Социально-экономическая безопасность личности во многом определяется состоянием экономики. Человек – основной элемент экономической системы. Его нацеленность на рост производительности труда, снижение общественно необходимых затрат в расчете на единицу полезного эффекта имеет решающее значение в развитии системы управления экономикой.

ВЫВОД

Для обеспечения социально-экономической безопасности государства, предотвращения существующих опасностей и угроз или устранения последствий их воздействия необходимо, чтобы экономическая система государства была способна удовлетворить весь набор социально-экономических потребностей общества. В основе социально-экономических потребностей лежат материальные условия жизни людей и условия производственной деятельности. Удовлетворение социально-экономических потребностей должно создать материальные условия жизнедеятельности общества, его духовной жизни, воспроизводить как общественные, так и личные факторы производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ярошевич, В. И. Социальные группы белорусского общества в условиях трансформации / В. И. Ярошевич // Беларуская думка. 2015. № 10. С. 68–73.
2. Липатова, Л. Н. Характеристика жизненного уровня населения в контексте вопросов экономической безопас-

REFERENCES

- ности / Л. Н. Липатова, В. Н. Градусова, Е. В. Модин // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2015. № 5. С. 26–37.
3. Барышева, Г. А. Национальная экономика / Г. А. Барышева, Т. Б. Якимова; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Томск: Изд-во Томск. политех. ун-та, 2013. 204 с.
 4. Швайба, Д. Н. Анализ применимости корпоративной социальной ответственности в практике Республики Беларусь / Д. Н. Швайба // Науч.-техн. ведомости С.-Петерб. гос. политехн. ун-та. Сер. Экон. науки. 2009. № 6/1. С. 54–57.
 5. Швайба, Д. Н. Мировые тенденции развития социальной ответственности бизнеса / Д. Н. Швайба // Труд. Профсоюзы. Общество. 2010. № 2. С. 29–33.
 6. Швайба, Д. Н. Социальная сфера промышленного предприятия как поле реализации социальной ответственности бизнеса / Д. Н. Швайба. Минск: Зм. Колас, 2010. 104 с.
 7. Исанбаева, С. Д. Экономические аспекты социальной справедливости / С. Д. Исанбаева // Казанская наука. 2015. № 1. С. 72–74.
 8. Колесников, В. В. Экономическая свобода и справедливость как базисные факторы пространственного и регионального развития страны / В. В. Колесников, И. Н. Макаров, О. И. Юдин // ФЭС: Финансы. Экономика. Стратегия. 2016. № 2. С. 34–38.
 9. Попов, А. Н. Идея справедливости в экономических отношениях людей: история и современность / А. Н. Попов, Г. М. Мурзагалина // Научное обозрение. 2016. № 19. С. 296–304.
 10. Сенчагов, В. К. Новые угрозы экономической безопасности и защита национальных интересов России / В. К. Сенчагов // Проблемы теории и практики управления. 2013. № 10. С. 8–18.
 11. Коваленя, А. А. Республика Беларусь – Европейский союз: проблемы и перспективы партнерства / А. А. Коваленя, А. А. Лазаревич; под ред. Л. Ф. Евменова; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т философии. Минск: Беларус. навук, 2013. 527 с.
 12. Введение в институциональную экономику / под ред. Д. С. Львова. М.: Изд-во «Экономика», 2005. 639 с.
 13. Колупаев, А. В. Формирование концепции национальной экономической безопасности в зарубежных странах / В. А. Колупаев // Беларус. экономика: анализ, прогноз, регулирование. 2002. № 12. С. 2–9.
 14. Лапченко, Е. Н. Экономическая безопасность предприятия и риски / Е. Н. Лапченко, А. А. Быков; под ред. А. А. Быков. Минск: Амолфея: Мисанта, 2012. 184 с.
 15. Kuznets, S. Economic Growth and Structure: Selected Essays / S. Kuznets. New York: W. W. Norton, 1965. 378 p.
 16. Schultz, T. W. Investment in Human Capital / T. W. Schultz // American Economic Review. 1961. Vol. 51. P. 1–17.
 1. Yarashevich V. I. (2015) Social Groups of the Belarusian Society under Conditions of Transformation. *Belaruskaya Dumka* [Belarusian Thought], (10), 68–73 (in Russian).
 2. Lipatova L. N., Gradusova V. N., Modine E V. (2015) Characteristics of People’s Living Standard in the Context of Economic Security. *Ekonomika: Vchera, Segodnya, Zavtra = Economics: Yesterday, Today and Tomorrow*, (5), 26–37 (in Russian).
 3. Barysheva G. A., Yakimova T. B. (2013) *National Economy*. Tomsk, Publishing House of Tomsk Polytechnic University. 204 (in Russian).
 4. Shvayba D. N. (2009) Applicability Analysis for Corporate Social Responsibility in the Practice of the Republic of Belarus. *Nauchno-Tekhnicheskie Vedomosti SPbGPU. Ekonomicheskie Nauki = St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics*, (6/1), 54–57 (in Russian).
 5. Shvayba D. N. (2010) Global Trends in Social Responsibility of Business. *Trud. Profsoyuzy. Obshchestvo* [Labour. Trade Unions. Society], (2), 29–33 (in Russian).
 6. Shvayba D. N. (2010) *Social Sphere of Industrial Enterprise as Field Realization of Social Responsibility in Business*. Minsk, “Zm. Kolas” Publishing House. 104 (in Russian).
 7. Isanbaeva S. D. (2015) Economic Aspects of Social Justice. *Kazanskaya Nauka = Kazan Science*, (1), 72–74 (in Russian).
 8. Kolesnikov V. V., Makarov I. N., Yudin O. I. (2016) Economic Freedom and Justice as Basic Factors for Spatial and Regional Development of Country. *FES: Finansy. Ekonomika. Strategiya = FES: Finance. Economy. Strategy*, (2), 34–38 (in Russian).
 9. Popov A. N., Murzagalina G. M. (2016) Idea of Justice in Economic Relations: History and Modernity. *Nauchnoye Obozrenie = Scientific Review*, (19), 296–304 (in Russian).
 10. Senchagov V. K. (2013) New Challenges to Economic Security and Protection of National Interests of Russia. *Problemy Teorii i Praktiki Upravleniya = Theoretical and Practical Aspects of Management*, (10), 8–18 (in Russian).
 11. Kovalenya A. A., Evmenov L. F. (ed.), Lazarevich A. A. (2013) *Republic of Belarus – European Union: Problems and Partnership Prospects*. Minsk, Belaruskaya Navuka Publ. 527 (in Russian).
 12. Lvov D. S. (ed.) (2005) *Introduction to Institutional Economics*. Moscow, Ekonomika Publ. 639 (in Russian).
 13. Kolupaev A. V. (2002) Formation of Concept on National Economic Security in Foreign Countries. *Belaruskaya Ekonomika: Analiz, Prognoz, Regulirovanie* [Belarusian. Economy: Analysis, Forecast, Regulation], (12), 2–9 (in Russian).
 14. Lapchenko E. N., Bykov A. A. (2012) *Enterprise Economic Security and Risks*. Minsk, Amalfeia, Misanta Publ. 184 (in Russian).
 15. Kuznets S. (1965) *Economic Growth and Structure: Selected Essays*. New York, W. W. Norton, 378.
 16. Schultz T. W. (1961) Investment in Human Capital. *American Economic Review*, 51, 1–17.

Поступила 28.07.2017

Подписана в печать 26.09.2017

Опубликована онлайн 28.11.2017

Received: 28.07.2017

Accepted: 26.09.2017

Published online: 28.11.2017

К проблеме оптимизации региональной складской и автотранспортной инфраструктуры¹

Докт. техн. наук, проф. И. Ю. Мирецкий¹, канд. техн. наук, доц. П. В. Попов¹,
докт. экон. наук, проф. Р. Б. Ивуть²

¹Волжский гуманитарный институт, филиал Волгоградского государственного университета
(Волжский, Российская Федерация),

²Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2017
Belarusian National Technical University, 2017

Реферат. Предлагается подход к решению проблемы оптимизации складской и транспортной инфраструктуры региона. Проблема состоит в определении оптимальных мощности и месторасположения опорной сети складов на территории региона, мощности, состава и месторасположения автотранспортных парков. С целью оптимизации рассматриваются математические модели региональной складской сети и сети автотранспортных парков. Эти модели представлены в виде задач математического программирования с сепарабельными функциями. Процесс поиска оптимального решения задач осложнен их особенностями: высокой размерностью, нелинейностью функций и тем, что на часть переменных наложено ограничение целочисленности, а некоторые переменные могут принимать значения только из дискретного множества. Перечисленные особенности задач обуславливают отказ от поиска точного решения. В статье предлагается приближенный подход к решению задач. Этот подход нацелен на использование эффективных вычислительных схем решения многомерных оптимизационных задач, имеющих высокую размерность. Для приближенного решения задачи выполняется переход к ее непрерывной релаксации, которая предполагает отказ от требований целочисленности (дискретности) переменных. В качестве приближенного решения исходной задачи принимается приближенно оптимальное решение ее непрерывной релаксации. Предлагаемый метод решения подразумевает линеаризацию полученной непрерывной релаксации и использование схем сепарабельного программирования и ветвей, и границ. В статье оговорены особенности использования симплекс-метода при решении линеаризованной непрерывной релаксации исходной задачи, указаны специфические моменты реализации метода ветвей и границ. Показана конечность алгоритма решения задачи, даны рекомендации по ускорению процесса поиска решения.

Ключевые слова: региональная складская сеть, непрерывная релаксация, сепарабельное программирование, задача оптимизации

Для цитирования: Мирецкий, И. Ю. К проблеме оптимизации региональной складской и автотранспортной инфраструктуры / И. Ю. Мирецкий, П. В. Попов, Р. Б. Ивуть // *Наука и техника*. 2017. Т. 16, № 6. С. 532–536. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-6-532-536

On Problem of Regional Warehouse and Transport Infrastructure Optimization

I. Yu. Miretskiy¹, P. V. Popov¹, R. B. Ivut²

¹Volzhsky Institute of Humanities Branch of Volgograd State University (Volzhsky, Russian Federation),

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

Abstract. The paper proposes an approach to solution of the problem pertaining to warehouse and transport infrastructure optimization in a region. The task is to determine optimal capacity and location of the support network of warehouses on the regional territory and capacity, composition and location of motor fleets. Mathematical models of the regional warehouse network and the network of motor fleets have been used with the purpose to carry out optimization process. These models are presented as mathematical programming problems with separable functions. Searching process of optimal solution for problems

Адрес для переписки
Попов Павел Владимирович
Волжский гуманитарный институт,
филиал Волгоградского государственного университета
ул. 40 лет Победы, 11,
404133, г. Волжский, Волгоградская обл.,
Российская Федерация
Тел.: +7 917 649-78-22
donpascha@yandex.ru

Address for correspondence
Popov Pavel V.
Volzhsky Institute of Humanities
Branch of Volgograd State University
11 of 40 year Victory str.,
404133, Volzhsky, Volgogradskaya obl.,
Russian Federation
Tel.: +7 917 649-78-22
donpascha@yandex.ru

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Российского гуманитарного научного фонда (проект № 16-12-34015).

is complicated due to high dimensionality, non-linearity of functions, and the fact that a part of variables are constrained to integer, and some variables can take values only from a discrete set. The mentioned above task peculiarities motivate rejection from search for an exact solution. The paper proposes an approximate approach to solving problems. This approach is directed on usage of effective computational schemes for solving multidimensional optimization problems which have high dimensionality. It is proposed to carry out transition to continuous relaxation of the original problem in order to obtain its approximate solution. The continuous relaxation presupposes rejection from variable integrality (discreteness) conditions. As an approximate solution of the original problem an approximately optimal solution of continuous relaxation has been taken in the paper. The suggested solution method implies linearization of the obtained continuous relaxation and usage of separable programming schemes and branches and bounds. The paper describes usage of a simplex method for solving a linearized continuous relaxation of the original problem and specific moments for implementation of a method of branches and bounds. The paper shows finiteness of the algorithm for problem solution and recommends how to accelerate process for searching a solution.

Keywords: regional warehouse network, continuous relaxation, separable programming, optimization tasks

For citation: Miretskiy I. Yu., Popov P. V., Ivut R. B. (2017) On Problem of Regional Warehouse and Transport Infrastructure Optimization // *Science and Technique*. 16 (6), 532–536. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-6-532-536

Введение

В [1–5] предложен подход к решению задачи определения мощности и месторасположения опорной сети складов на территории регионов. Как реализация этого подхода авторами разработана математическая модель в виде задачи математического программирования. Задачу оптимизации региональной складской сети резонно рассматривать совместно с задачей оптимизации транспортной инфраструктуры. Моделированию и оптимизации транспортной инфраструктуры региона посвящена статья [6]; разработанная здесь математическая модель более сложна, чем модель [1], однако имеет сходную структуру. В построенных моделях – задачах математического программирования – все функции являются сепарабельными, большинство из них – линейные. Осложняют процесс поиска оптимального решения задач дополнительные условия:

- 1) некоторые функции являются нелинейными;
- 2) на некоторые переменные наложено требование целочисленности;
- 3) некоторые переменные могут принимать значения только из дискретного множества.

В настоящей работе предлагается математический аппарат для численного решения задач оптимизации складской и автотранспортной инфраструктур.

Постановка задачи

Упростив обозначения переменных и функций, поставим задачи [1, 6] в следующем общем виде:

минимизировать

$$f^0(x_1, \dots, x_n) = \sum_{j=1}^n f_j^0(x_j), \quad (1)$$

при условиях

$$f^i(x_1, \dots, x_n) = \sum_{j=1}^n f_j^i(x_j) R_i b_i, \quad i = \overline{1, m}, \quad (2)$$

где R_i – либо « \leq », либо « $=$ »;

$$x_j \in \mathbb{Z}_{\geq 0}, \quad j = \overline{1, n_1}, \quad (3)$$

$$x_j \in \mathbf{W}_j = \{w_j^1, w_j^2, \dots, w_j^{s_j}\}, \quad j = \overline{n_1 + 1, n_2}, \quad (4)$$

где $w_j^k \in \mathbb{Z}_{\geq 0}$, $k = \overline{1, s_j}$;

$$x_j \geq 0, \quad j = \overline{n_2 + 1, n}. \quad (5)$$

Сепарабельные функции $f_j^i(x_j)$, $i = \overline{0, m}$, $j = \overline{1, n}$ в общем случае являются нелинейными. Не ограничивая общности рассуждений, будем считать, что множество \mathbf{W}_j упорядочено: $w_j^1 \leq w_j^2 \leq \dots \leq w_j^{s_j}$ ($j = \overline{n_1 + 1, n_2}$). Отметим также, что ограничения (2) описанной задачи позволяют определить правые границы u_j для переменных, так что эти значения u_j можно считать известными:

$$x_j \leq u_j, \quad j = \overline{1, n} \quad (u_j = w_j^{s_j}, \quad j = \overline{n_1 + 1, n_2}).$$

В дальнейшем для каждой переменной будет удобно указывать и ее нижнюю границу d_j :

$$d_j \leq x_j \leq u_j, \quad j = \overline{1, n}. \quad (6)$$

Изначально $d_j = 0, j = \overline{1, n_1}, \overline{n_2 + 1, n}$ и $d_j = w_j^1, j = \overline{n_1 + 1, n_2}$.

Приближенное решение задачи

В силу высокой размерности рассматриваемой задачи, наличия нелинейных функций в ее постановке, а также ограничений (3), (4) на переменные (целочисленность, принадлежность дискретному множеству) от поиска оптимального решения резонно отказаться. Будем использовать приближенный подход к решению поставленной задачи (1)–(5). Этот подход нацелен на использование эффективных вычислительных схем решения многомерных и высоко-размерных оптимизационных задач.

Для приближенного решения задачи рассмотрим ее непрерывную релаксацию (НР): откажемся от требования целочисленности (дискретности) переменных и заменим условия (3)–(5) условием

$$x_j \geq 0, j = \overline{1, n}. \tag{7}$$

Таким образом, НР исходной задачи (1)–(5) есть задача (1), (2), (7).

В качестве приближенного решения исходной задачи примем приближенно оптимальное решение НР. В случае получения неудовлетворительного по качеству приближения (по ограничениям, по переменным) НР разбивается на две подзадачи, каждая из которых решается отдельно и т. д. до тех пор, пока не будет получено приемлемое по качеству решение. Предлагаемый подход сочетает в себе идеи метода сепарабельного программирования [7, 8] и метода ветвей и границ [9, 10].

Принимая во внимание сепарабельность функций $f_j^i(x_j), i = \overline{0, m}, j = \overline{1, n}$, для получения приближенно оптимального решения задачи НР воспользуемся методом сепарабельного программирования. Для начала выполним линейаризацию НР. Для линейаризации задачи каждая из нелинейных функций $f_j^i(x_j), i = \overline{0, m}, j = \overline{1, n}$ заменяется ее кусочно-линейной аппроксимацией. Таким образом, исходная задача НР заменяется приближенной задачей линейно-

го программирования, которая решается симплекс-методом.

Для кусочно-линейной аппроксимации нелинейной функции $f_j^i(x_j), d_j \leq x_j \leq u_j$ разобьем отрезок $[d_j, u_j]$ точками $d_j = x_j^0, x_j^1, \dots, x_j^{r_j}, \dots, x_j^{r_j} = u_j$. Кусочно-линейную аппроксимацию функции $f_j^i(x_j)$ на отрезке $[d_j, u_j]$ дает кусочно-линейная функция

$$q_j^i(x_j) = \sum_{k=0}^{r_j} \lambda_j^k f_j^i(x_j^k), \tag{8}$$

где

$$x_j = \sum_{k=0}^{r_j} \lambda_j^k x_j^k; \tag{9}$$

$$\lambda_j^k \geq 0, k = \overline{0, r_j}; \tag{10}$$

$$\sum_{k=0}^{r_j} \lambda_j^k = 1. \tag{11}$$

Замечание 1. В представлении (8)–(11) функции $f_j^i(x_j)$ для любого $x_j \in [d_j, u_j]$ не более двух соседних λ_j^k из множества $\Lambda_j = \{\lambda_j^0, \lambda_j^1, \dots, \lambda_j^{r_j}\}$ специальных переменных отличны от нуля.

Используя приближенное представление (8)–(11) функции $f_j^i(x_j)$, дадим приближенное представление задачи НР (1), (2), (7) в следующем виде:

минимизировать

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=0}^{r_j} \lambda_j^k f_j^0(x_j^k) \tag{12}$$

при ограничениях

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n \sum_{k=0}^{r_j} \lambda_j^k f_j^i(x_j^k) R_i b_i, & i = \overline{1, m}; \\ \sum_{k=0}^{r_j} \lambda_j^k = 1, & j = \overline{1, n}; \\ \lambda_j^k \geq 0, & k = \overline{0, r_j}. \end{cases} \tag{13}$$

Заметим, что при построении задачи (12), (13) для всех функций $f_j^i(x_j)$, $i = \overline{0, m}$ одной переменной x_j используется одно и то же разбиение отрезка $[d_j, u_j]$ точками x_j^k , $k = \overline{0, r_j}$, которому соответствует свое собственное множество $\Lambda_j = \{\lambda_j^0, \lambda_j^1, \dots, \lambda_j^{r_j}\}$ специальных переменных. Таким образом, каждой переменной x_j ставится в соответствие множество Λ_j , $j = \overline{1, n}$.

Задача (12), (13) – задача линейного программирования относительно переменных λ_j^k . Для решения задачи (12), (13) используем специальный вариант симплекс-метода [8], блокирующий одновременное вхождение в базис более двух соседних по индексу k специальных переменных λ_j^k при каждом j (Замечание 1). В итоге получим экстремальные значения переменных $(\lambda_j^k)^*$, а следовательно, и приближенное решение исходной задачи НР

$$x_j^* = \sum_{k=0}^{r_j} (\lambda_j^k)^* x_j^k, \quad j = \overline{1, n}. \quad (14)$$

Если найденные значения λ_j^* (14) удовлетворяют условиям (3)–(5), то x_1^*, \dots, x_n^* – искомое приближенно оптимальное решение исходной задачи (1)–(5). Если это не так, для получения решения используем метод ветвей и границ.

Будем использовать стандартную схему ветвей и границ для решения задач частично целочисленного линейного программирования [9, 10]. Поэтому опустим хорошо известные детали работы схемы и опишем лишь два специфических момента, присущих рассматриваемой задаче.

1. Опишем процедуру ветвления, используя принятые обозначения. Допустим, хотя бы одно из условий (3) или (4) не выполняется (условия (5) выполняются автоматически). Пусть для определенности не выполнено (4)

$$w_j^l < x_j^* < w_j^{l+1}, \quad j \in \{n_1 + 1, \dots, n_2\}.$$

Тогда разобьем задачу НР (1), (2), (7) на две подзадачи НР1 и НР2, введя в НР дополнительные ограничения. Задача НР1 имеет вид (1), (2), (7), $d_j \leq x_j \leq w_j^l$; задача НР2 имеет вид (1), (2), (7), $w_j^{l+1} \leq x_j \leq u_j$.

Если не выполнено условие (3) и $d_j \leq [x_j^*] < x_j^* < [x_j^*] + 1 \leq u_j$, $j \in \{1, \dots, n_1\}$, то задача НР1 имеет вид (1), (2), (7), $d_j \leq x_j \leq [x_j^*]$, а задача НР2 – вид (1), (2), (7), $[x_j^*] + 1 \leq x_j \leq u_j$.

2. В дополнение к стандартной схеме ветвей и границ здесь необходимо лишь каждый раз выполнять линейризацию полученных при ветвлении НР-задач.

ВЫВОД

Представлен метод приближенного решения задачи оптимизации региональной складской и автотранспортной инфраструктуры. Метод предполагает построение непрерывной релаксации исходной задачи, линейризацию полученной непрерывной релаксации и использование схем сепарабельного программирования и ветвей, и границ. Конечность метода (алгоритма решения) следует из конечности множеств, описываемых соотношениями (3) и (4) при дополнительных условиях (6). Для ускорения процесса поиска решения следует при выполнении линейризации выбирать точки разбиения $x_j^0, x_j^1, \dots, x_j^k, \dots, x_j^{r_j}$ отрезка $[d_j, u_j]$ так, чтобы выполнялось $\{w_j^1, w_j^2, \dots, w_j^{s_j}\} \subseteq \{x_j^0, x_j^1, \dots, x_j^k, \dots, x_j^{r_j}\}$ (формула (4)) или $\{x_j \in \mathbb{Z}_{\geq 0} \mid d_j \leq x_j \leq u_j, j = \overline{1, n_1}\} \subseteq \{x_j^0, x_j^1, \dots, x_j^k, \dots, x_j^{r_j}\}$ (формулы (3), (6)). Наконец, если точность решения не является критичной (задача состоит в получении примерных оценок параметров реальной системы), то для ускорения процесса поиска решения резонно отсекал еще не исследованные вершины графа ветвлений с «плохими» оценками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Модель формирования складской инфраструктуры регионов / П. В. Попов [и др.] // Новости науки и технологий. 2016. Т. 37, № 2. С. 24–28.
2. Попов, П. В. Моделирование складской инфраструктуры регионов Российской Федерации / П. В. Попов, И. Ю. Мирецкий // Логистика. 2015. № 6. С. 24–27.
3. Попов, П. В. Формирование сети распределительных центров на территории Российской Федерации / П. В. Попов, И. Ю. Мирецкий, О. В. Шевченко // Логистика. 2016. № 4. С. 26–29.
4. Попов, П. В. О размещении транспортно-логистического центра на территории Волгоградской области / П. В. Попов, И. Ю. Мирецкий // Логистика. 2014. № 2. С. 46–49.
5. Попов, П. В. Построение модели формирования региональной складской сети / П. В. Попов, В. Е. Хартовский // Вестник МГСУ. 2016. № 8. С. 133–142.
6. 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. DOI: 10.21122/2227-1031-2016-15-5-442-446.
7. Miller, C. E. The Simplex Method for Local Separable Programming / C. E. Miller // Recent Advances in Mathematical Programming. Eds. R. Graves and P. Wolfe. McGraw-Hill. New York, 1963. P. 89–100.
8. Муртаф, Б. Современное линейное программирование / Б. Муртаф. М.: Мир, 1984. 224 с.
9. Land, A. Y. An Automatic Method for Solving Discrete Programming Problems / A. Y. Land, A. G. Doig // Econometrica. 1960. Vol. 28, No 3. P. 497–520.
10. Сигал, И. Х. Введение в прикладное дискретное программирование: модели и вычислительные алгоритмы / И. Х. Сигал, А. П. Иванова. М.: Физматлит, 2003. 240 с.

Поступила 17.05.2017
 Подписана в печать 20.07.2017
 Опубликовано онлайн 28.11.2017

REFERENCES

1. Popov P., Miretskiy I., Ivut R., Lapkouskaya P. (2016) Model for Formation of Warehouse Infrastructure in Regions. *Novosti Nauki i Tekhnologii = News of Science and Technologies*, 37 (2), 24–28 (in Russian).
2. Popov P. V., Miretskiy I. Yu. (2015) Simulation of Warehouse Infrastructure in Regions of Russian Federation. *Logistika = Logistics*, (6), 24–27 (in Russian).
3. Popov P. V., Miretskiy I. Yu., Shevchenko O. V. (2016) Creation of a Network of Distribution Centers on the Territory of the Russian Federation. *Logistika = Logistics*, (4), 26–29 (in Russian).
4. Popov P. V., Miretskiy I. Yu. (2014) On Location of Transport and Logistics Center on Territory of Volgograd Province. *Logistika = Logistics*, (2), 46–49 (in Russian).
5. Popov P. V., Khartovsky V. E. (2016) Modeling of Regional Warehouse Network Generation. *Vestnik MGSU = Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering*, (8), 133–142 (in Russian).
6. Ivut R. B., Popov P. V., Miretskiy I. Yu. (2016) Designing of Automobile Fleet Network. *Nauka i Tekhnika = Science & Technique*, 15 (5), 442–446 (in Russian). DOI: 10.21122/2227-1031-2016-15-5-442-446.
7. Miller C. E. (1963) The Simplex Method for Local Separable Programming. Graves R., Wolfe P. (ed.). *Recent Advances in Mathematical Programming*. New York, McGraw-Hill, 89–100.
8. Murtagh B. A. (1981) *Advanced Linear Programming*. New York, McGraw-Hill Book Co. 202.
9. Land A. Y., Doig A. G. (1960) An Automatic Method for Solving Discrete Programming Problems. *Econometrica*, 28 (3), 497–520. DOI: 10.2307/1910129.
10. Sigal I. H., Ivanova A. P. (2003) *Introduction to Applied Discrete Programming: Models and Computational Algorithms*. Moscow, Fizmatlit Publ. 240 (in Russian).

Received: 17.05.2017
 Accepted: 20.07.2017
 Published online: 28.11.2017

DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-6-537-545

УДК 658.566 (075)

Оптимизация поставок материальных ресурсов в логистической системе строительства автомобильных дорог

Канд. экон. наук, доц. И. М. Царенкова¹⁾¹⁾Белорусский государственный университет транспорта (Гомель, Республика Беларусь)© Белорусский национальный технический университет, 2017
Belarusian National Technical University, 2017

Реферат. Особо значима роль логистики в ресурсном обеспечении строительства автомобильных дорог, где велико влияние таких специфических факторов, как необходимость использования разнообразных видов материальных ресурсов, наличие многокомпонентных полуфабрикатов, требующих приготовления в построечных условиях, значительная линейная протяженность объектов, что требует формирования логистического дорожно-строительного потока, удаленность от производственных баз строительных организаций, зависимость производства от природно-климатических факторов, ярко выраженная сезонность производства работ. Все эти условия влияют на конкретные организационно-экономические формы логистических процессов при строительстве автомобильных дорог. С целью применения логистического подхода к организации строительства автомобильной дороги целесообразно моделирование системы поставок материальных ресурсов для обеспечения непрерывного хода производства работ, что позволит выделить процессы, требующие оптимизации. Предлагаемый логистический подход к рациональной организации поставок материальных ресурсов на объект строительства автомобильной дороги состоит в управлении всеми операциями, которые необходимо выполнять на пути продвижения материального потока. Спецификой цепей поставок материальных ресурсов в логистической системе строительства автодорог является прямая зависимость качества произведенного продукта от соблюдения технологии производства работ, напрямую связанной со своевременной поставкой материалов. Оптимизация достигается за счет подбора количественного состава транспортных средств, повышения их производительности и выбора рациональной схемы транспортировки по критерию минимальной стоимости. Использование математического аппарата позволяет рассчитать оптимальное число транспортных средств в логистической системе строительства автодороги, обеспечивающих бесперебойную доставку материальных ресурсов на объект с учетом требуемых темпов производства работ.

Ключевые слова: логистическая система, материальный поток, материальные ресурсы, транспортные затраты, цепи поставок

Для цитирования: Царенкова, И. М. Оптимизация поставок материальных ресурсов в логистической системе строительства автомобильных дорог / И. М. Царенкова // *Наука и техника*. 2017. Т. 16, № 6. С. 537–545. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-6-537-545

Optimization of Supplies for Material Resources in Logistics System for Construction of Automobile Roads

I. M. Tsarenkova¹⁾¹⁾Belarusian State University of Transport (Gomel, Republic of Belarus)

Abstract. Logistics plays a significant role in resource provision of automobile road construction. The following specific factors have rather high influential character, namely: necessity to use various types of material resources, presence of multi-component semi-finished products that require final preparation on the construction site, rather large linear length of objects that requires formation of logistics road-construction flow, distance from production bases of construction organizations, dependence of production on natural and climatic factors, distinct seasonality of executed works. All these conditions influence on specific organizational and economic forms of logistics processes while constructing automobile roads. In order to apply a logistics approach for organization of the automobile road construction it is expedient to make modeling of systems

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

for supply of material resources to ensure continuous process of works. Such approach will permit to specify processes requiring optimization. The proposed logistics approach to rational organization of supply for material resources required for automobile road construction presupposes control of all operations which must be carried out on the path of material flow motion. Specific feature of supply chain of material resources in the logistics system for automobile road construction is a direct dependence of final product quality on technology compliance during execution of works which is directly connected with timely supply of materials. Optimization is achieved through selection of quantitative composition of transport facilities, improvement of their productivity and selection of rational transportation schemes using a criterion of minimum cost. Usage of mathematical apparatus allows to calculate optimal number of transport facilities in the logistics system for automobile road construction, ensuring smooth delivery of material resources to the object with due account of the required rate of construction works.

Keywords: logistics system, material flow, material resources, transportation costs, supply chain

For citation: Tsarenkova I. M. (2017) Optimization of Supplies for Material Resources in Logistics System for Construction of Automobile Roads // *Science and Technique*. 16 (6), 537–545. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-6-537-545

Введение

В дорожном строительстве потребляется большое количество материальных ресурсов. С целью их использования при расчете сметной стоимости строительства автомобильных дорог сформирована республиканская нормативная база текущих цен на строительные материалы, представляющая собой систему, структура и методы которой позволяют создавать укрупненные группы строительных материалов, перечень и номенклатура которых увязаны с нормативами расхода ресурсов в натуральном выражении, объединенных по наименованию, технической характеристике и единице измерения [1]. Для расчета стоимости асфальтобетонных смесей по установленной форме составляются калькуляции на их приготовление, учитывающие фактические затраты на эксплуатацию оборудования асфальтобетонного завода, стоимость исходных

компонентов и транспортные расходы по их доставке на завод, заработную плату работников и другие статьи затрат [2]. Поэтому стоимость асфальтобетонной смеси одинакового состава различается у разных производителей. Результаты мониторинга стоимости щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси типа ЩМСц на щебне фракции 5–10 мм по областям республики представлены на рис. 1.

При формировании сметной стоимости строительства объекта учитывается не только стоимость асфальтобетонной смеси как материала для устройства покрытия в конструкции дорожной одежды, но и транспортные затраты по ее доставке на объект [2].

Для снижения удельного веса затрат на материальные ресурсы в составе сметной стоимости строительства автомобильных дорог требуется учет многих критериев, определяемых отраслевой особенностью организации выполняемых видов работ.



Рис. 1. Результаты мониторинга стоимости асфальтобетонной смеси (март 2017 г.)

Fig. 1. Monitoring results of asphalt mix cost (March, 2017)

Система усложняется, если подрядная организация работает на нескольких объектах, расположенных в одном или разных регионах, либо, наоборот, на объекте значительной линейной протяженности занято несколько дорожно-строительных управлений.

Развитие логистики в условиях рыночной экономики требует интегрированного подхода к процессу формирования цепи поставок материальных ресурсов на объекты дорожного строительства [3]. Интегрирующая функция логистики в процессе управления материальным потоком асфальтобетонной смеси при строительстве автомобильной дороги выражается через:

- интеграцию функции определения потребности в асфальтобетонной смеси с учетом темпа производства работ на объекте с функциями формирования хозяйственных связей по их поставке;
- координацию оперативного управления поставками, процессом транспортировки асфальтобетонной смеси на объект и ее производственным потреблением по всей длине участка производства работ;

- кооперацию в управлении сквозным материальным и сопутствующим ему информационным потоком;

- оптимизацию совокупных транспортно-логистических издержек всей цепи поставок – от исходных компонентов до готовой продукции – путем экономической заинтересованности организаций дорожного хозяйства в повышении эффективности движения материального потока, за счет разработки логистических схем;

- развитие специфических функций управления движением материального потока в увязке с традиционными функциями организации технологических процессов.

Логистическая цепь поставок формируется из упорядоченного множества поставщиков, перевозчиков и потребителей, осуществляющих логистические операции по доведению внешнего материального потока от одной логистической системы до другой [4]. Принципиальная схема логистической цепи поставки асфальтобетонной смеси на объект строительства представлена на рис. 2.

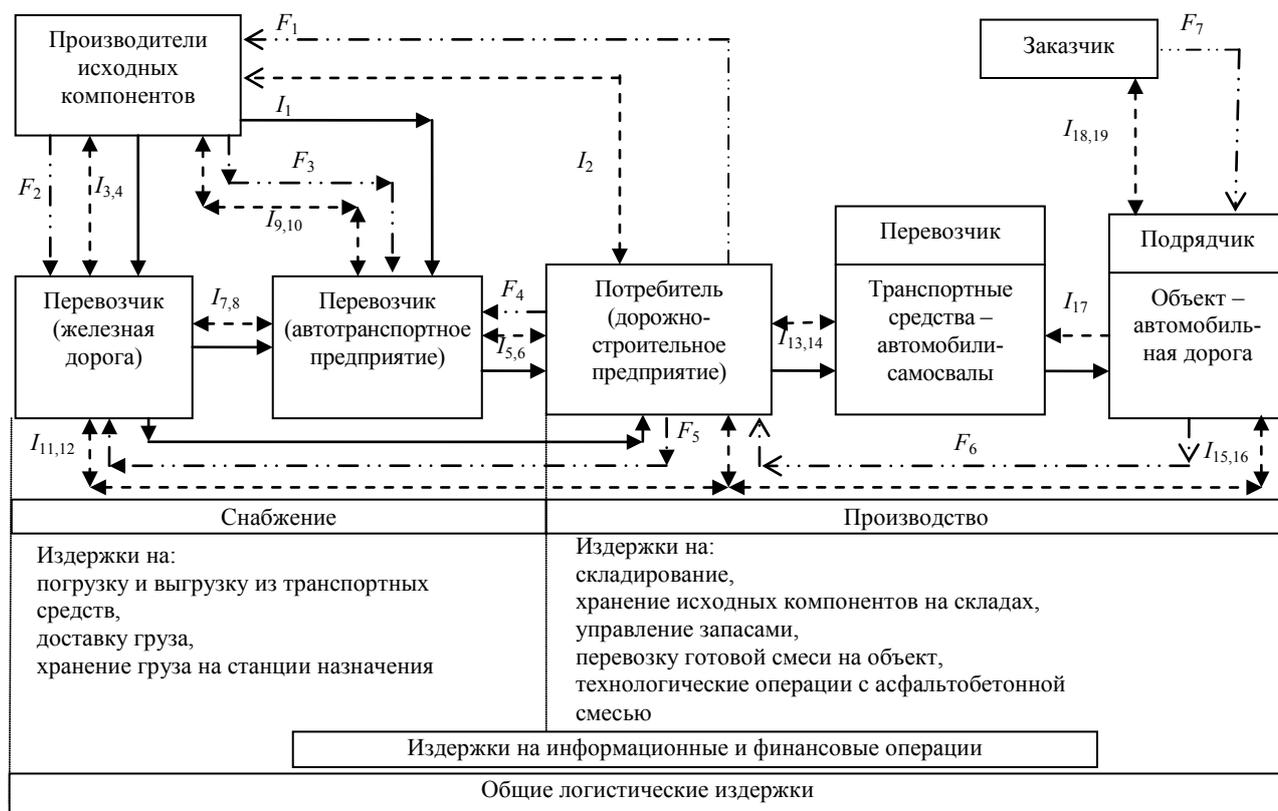


Рис. 2. Логистическая цепь поставки асфальтобетонной смеси на объект дорожного строительства:

→ – материальный поток; I_1, \dots, I_{19} – информационные потоки (---); F_1, \dots, F_7 – финансовые потоки (— · —)

Fig. 2. Logistic chain of asphalt mix delivery for road construction:

→ – material flow; I_1, \dots, I_{19} – information flows (---); F_1, \dots, F_7 – financial flows (— · —)

Следует отметить, что участие в указанной цепи организации-перевозчика является условным и для каждого строительного участка определяется индивидуально. Транспортировку как исходных компонентов для приготовления асфальтобетонной смеси, так и готового продукта могут выполнять транспортные средства подрядных организаций, либо поставщика материала, либо автотранспортной организации. Также возможна эксплуатация транспортных средств на условиях лизинга и аренды. Кроме того, в данной цепи поставок возможно и, как правило, присутствует сочетание различных видов транспорта [5]. Задача логистического управления в такой ситуации – определить, какой из альтернативных вариантов наиболее выгоден с точки зрения издержек при одинаковых условиях качества и времени выполнения операций. В любом случае, особенностью данного процесса является использование только автотранспортных средств для доставки асфальтобетонной смеси на объект строительства, что объясняется специфическими свойствами данного дорожно-строительного материала.

Для того чтобы логистическая цепь функционировала и ее результаты были оптимальными по временным и стоимостным критериям, ею необходимо управлять. В процессе управления оптимизации подлежат такие параметры, как вместимость склада, грузоподъемность транспортных средств, производительность и грузоподъемность подъемно-транспортных средств, производительность и количество дорожно-строительных машин [6].

Постановка задачи

При проектировании и организации материального потока асфальтобетонной смеси учитываются особенности, связанные с ее специфическими свойствами и технологией производства работ по устройству асфальтобетонного покрытия:

– цикл производства асфальтобетонной смеси составляет короткий промежуток времени (в зависимости от производительности асфальтосмесительной установки – от 0,8 до 10 т/мин);

– готовая асфальтобетонная смесь не может храниться длительное время в накопительном бункере (0,5–1,5 ч);

– ограниченное расстояние транспортировки, обусловленное температурными ограничениями (температура укладки – не ниже 120–130 °С);

– потребность в специальном подвижном составе с целью сохранения качественных характеристик готового продукта;

– процесс потребления смеси зависит от природно-климатических факторов, что обуславливает необходимость учета риска и неопределенности;

– необходимость строгого соблюдения требований технологического процесса как при производстве смеси, так и при ее укладке в слой асфальтобетонного покрытия [7].

При формировании логистических систем продвижения материальных потоков при строительстве (реконструкции) дороги выделяются следующие ограничивающие факторы:

– строгое соблюдение технологии производства работ;

– строгая последовательность выполняемых работ.

Соблюдение первого принципа связано с большой зависимостью технологии дорожных работ от природно-климатических факторов. Укладка горячих асфальтобетонных смесей выполняется только при положительных температурах воздуха и на сухом основании [8]. Поэтому особенности технологии дорожных работ требуют строгого соблюдения температурного режима, что отражается на сроках производства работ. Кроме того, нужно выдерживать определенные временные интервалы между отдельными видами работ для достижения необходимого качества дорожных покрытий. Второй принцип заключается в строгом соблюдении последовательности выполняемых операций с обеспечением необходимого задела, обеспечивающего непрерывность производства работ.

Существуют «тянущие» и «толкающие» системы управления материальными потоками внутри производственной системы. «Тянущие» системы обеспечивают управление материальными потоками по принципу «точно в срок», «толкающие» – планирование потребности в материалах и распределение ресурсов [9, 10].

Если рассматривать в качестве производственной системы асфальтобетонный завод, то можно говорить о формировании «толкающей» системы управления материальными потоками. При этом с целью обеспечения максимальной загрузки производственных мощностей планирование начинается с заготовительной стадии. Создаются большие запасы исходных материалов, поставляемых, как правило, большими партиями, так как их отсутствие может привести к сбою в производстве. При этом недостаточно отслеживается спрос на продукцию, что может привести к сокращению оборачиваемости оборотных средств вследствие излишних запасов в случаях, когда отсутствует потребность в асфальтобетонной смеси, что наиболее ярко проявляется в весенне-осенние периоды.

При использовании логистического подхода, целью которого является сквозное управление материальными потоками, для решения поставленной задачи в качестве производственной системы представляется система «асфальтобетонный завод – строящаяся автомобильная дорога». При организации ее работы на принципах «тянущей» системы материалы при производстве асфальтобетонной смеси и впоследствии готовая продукция поступают на следующую технологическую операцию с предыдущей по мере необходимости. В этом случае пополнение запасов исходных материалов происходит, когда их количество достигает критического уровня, что позволяет снизить логистические издержки, связанные с созданием запасов и транспортировкой материалов.

Экономико-математическая модель поставки асфальтобетонной смеси на объект на основе динамического программирования

Для практической реализации «тянущей» системы необходимо наличие надежных поставщиков и перевозчиков материальных ресурсов. Требуется сформировать модель логистической цепи при синхронном производстве, транспортировке и потреблении асфальтобетонной смеси, так как при устройстве асфаль-

тобетонного покрытия поточным методом требуется одинаковое количество смеси в равные промежутки времени на захватку. Выбор для моделирования заключительного звена цепи поставок связан с тем, что именно от его согласованной работы в большей степени зависит качество устраиваемого покрытия.

В данной модели учитываются возможность выпуска нескольких типов смесей, строгое соблюдение норм поставки готовой смеси на конкретные объекты, величина транспортной партии, отгружаемой каждому потребителю с учетом производственной мощности завода, стоимость хранения исходных материалов при отсутствии заказов на производство. В дальнейшем для определения путей оптимизации движения материальных потоков задача формулируется по двум направлениям: один асфальтобетонный завод обслуживает несколько строящихся объектов; система асфальтобетонных заводов обслуживает сеть автомобильных дорог. Оптимизационные расчеты выполняются на основе методов динамического программирования [11].

Целевой функцией z служит стоимость перевозки асфальтобетона от асфальтобетонного завода (АБЗ) до асфальтоукладчика. Стоимость, в свою очередь, зависит от дальности транспортировки асфальтобетонной смеси. Общая стоимость складывается из стоимости перевозки от заводов, поставляющих смесь на данный участок z_1 и z_2 . Дальность перевозки к месту укладки постоянно увеличивается на длину уложенной полосы l_m из смеси, перевозимой одним самосвалом.

Стоимость транспортировки на расстояние x выражается формулой

$$C(x) = C_0 + kx. \quad (1)$$

Формируется графическая зависимость стоимости перевозки от дальности транспортирования.

Целевая функция является суммой стоимости перевозки каждого автосамосвала на данный участок и описывается формулой

$$z = z_1 + z_2 = \sum_{i=0}^n (C_0 + k(l_1 + il_m)) +$$

$$+ \sum_{j=0}^m (C_0 + k(l_2 + jl_m)), \quad (2)$$

где l_1, l_2 – дальность транспортировки от АБЗ до начала участка, км; n, m – требуемое количество автосамосвалов.

Преобразуем целевые функции для расчета:

$$z_1 = \sum_{i=0}^n (C_0 + k(l_1 + il_m)) = \sum_{i=0}^n C_0 + k \sum_{i=0}^n (l_1 + il_m) = nC_0 + k \sum_{i=0}^n l_1 + kl_m \sum_{i=0}^n i = nC_0 + nkl_1 + kl_m \frac{n(n-1)}{2};$$

$$z_2 = \sum_{j=0}^m (C_0 + k(l_2 + jl_m)) = \sum_{j=0}^m C_0 + k \sum_{j=0}^m (l_2 + jl_m) = mC_0 + k \sum_{j=0}^m l_2 + kl_m \sum_{j=0}^m j = mC_0 + mkl_2 + kl_m \frac{m(m-1)}{2}.$$

Затраты на транспортирование асфальтобетонной смеси будут минимальны, когда целевая функция стремится к минимуму:

$$z = z_1 + z_2 = nC_0 + nkl_1 + kl_m \frac{n(n-1)}{2} + mC_0 + mkl_2 + kl_m \frac{m(m-1)}{2} \rightarrow \min.$$

Ограничениями в данном случае является то, что n и m – целые неотрицательные числа. Условием выполнения будет укладка покрытия не менее чем на длину участка S

$$\begin{cases} (n+m)l_m \geq S, \\ n, m \geq 0 - \text{целые.} \end{cases} \quad (3)$$

Данные вычисления подходят для случая, когда АБЗ располагаются с разных сторон участка. Когда же АБЗ располагаются с одной стороны, целевая функция приобретает вид

$$z_{\text{общ}} = (n+m)C_0 + (n+m)kS + kl_m \frac{(n+m-1)(n+m)}{2}. \quad (4)$$

Для реализации экономико-математической модели поставки асфальтобетонной смеси на объект на основе динамического программирования графов целесообразно использовать программное обеспечение табличного редактора Microsoft Excel с помощью надстройки «Поиск решения». Для расчета составляется таблица исходных данных для решения задачи, задаются параметры целевой функции и ее вид (рис. 3).

| | B | C | D | E | F |
|----|---|-------------|--------------------------------|---|--------|
| 1 | | | | | |
| 2 | Количество ездов от АБЗ, n_1 | 0 | Параметр стоимости C_0 , руб | | 111226 |
| 3 | Количество ездов от АБЗ, m_1 | 0 | Параметр стоимости k , руб | | 27238 |
| 4 | Длина уложенной полосы от выгрузки самосвала l_m , км | 0,027 | | | |
| 5 | Длина участка укладки S_1 , км | 7,1 | | | |
| 6 | Расстояние от АБЗ до участка l_1 , км | 16 | | | |
| 7 | Расстояние от АБЗ до участка l_2 , км | 4,3 | | | |
| 8 | Целевая функция z , руб | =C2*(F2+F3) | | | |
| 9 | Ограничение по длине, $(n_1+m_2)l_m$ | 0 | | | |
| 10 | Ограничение по количеству | 0 | | | |
| 11 | | | | | |

Рис. 3. Форма представления таблицы исходных данных

Fig. 3. Form of initial data table presentation

Далее в надстройке «Поиск решения» задается адрес целевых ячеек, дается ссылка на ограничения, указывается требование неотрицательности переменных (рис. 4).

После задания всех параметров задачи на экран выводятся результаты поиска решений (рис. 5).

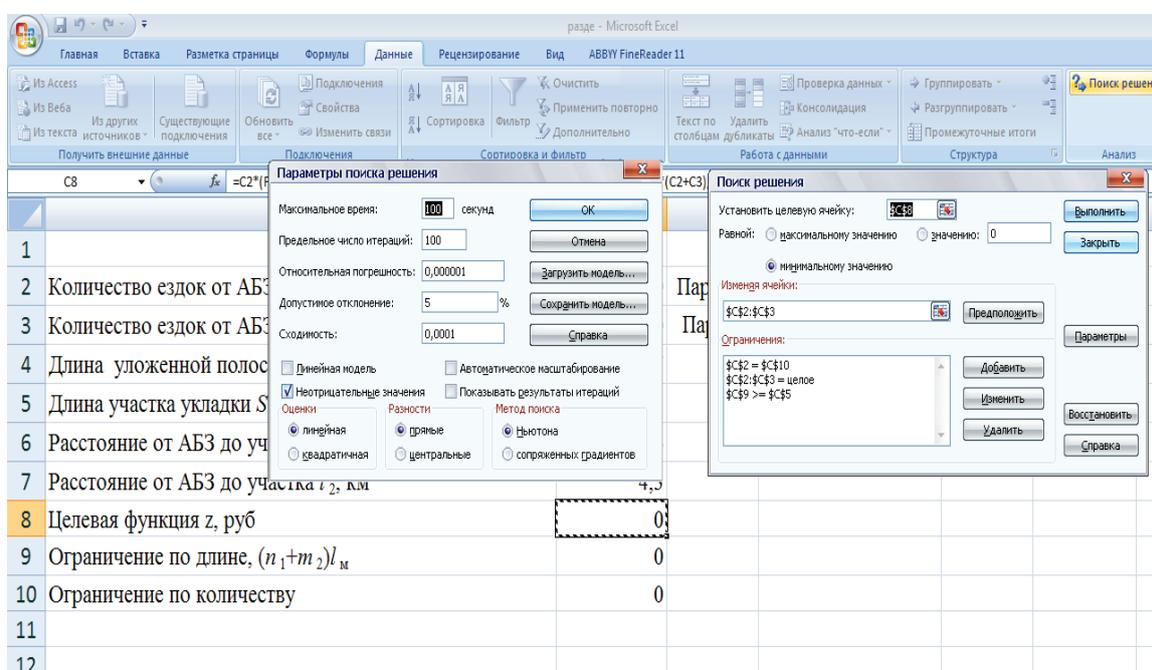


Рис. 4. Применение надстройки «Поиск решения»
 Fig. 4. Application of additional component “Search for solution”

| | B | C | D | E | F |
|----|--|-----------|--------------------------------|---|--------|
| 1 | | | | | |
| 2 | Количество ездов от АБЗ, n_1 | 0 | Параметр стоимости C_0 , руб | | 111226 |
| 3 | Количество ездов от АБЗ, m_1 | 263 | Параметр стоимости k , руб | | 27238 |
| 4 | Длина уложенной полосы от выгрузки самосвала $l_{м7}$, км | 0,027 | | | |
| 5 | Длина участка укладки S_1 , км | 7,1 | | | |
| 6 | Расстояние от АБЗ до участка l_1 , км | 16 | | | |
| 7 | Расстояние от АБЗ до участка l_2 , км | 4,3 | | | |
| 8 | Целевая функция z , руб | 165507480 | | | |
| 9 | Ограничение по длине, $(n_1+m_2)l_{м7}$ | 7,101 | | | |
| 10 | Ограничение по количеству | 0 | | | |
| 11 | | | | | |

Рис. 5. Пример выдачи результатов поиска решений
 Fig. 5. Example of output results of Search for solution

В случае, если необходимо использовать мощности нескольких асфальтобетонных заводов (например, для обеспечения участка

большим объемом асфальтобетонной смеси), в расчет вводится фиксированная поставка (рис. 6).

| | B | C | D | E | F |
|----|--|-----------|--------------------------------|---|--------|
| 1 | | | | | |
| 2 | Количество ездов от АБЗ, n_1 | 100 | Параметр стоимости C_0 , руб | | 111226 |
| 3 | Количество ездов от АБЗ, m_1 | 163 | Параметр стоимости k , руб | | 27238 |
| 4 | Длина уложенной полосы от выгрузки самосвала l_m , к | 0,027 | | | |
| 5 | Длина участка укладки S_1 , км | 7,1 | | | |
| 6 | Расстояние от АБЗ до участка l_1 , км | 16 | | | |
| 7 | Расстояние от АБЗ до участка l_2 , км | 4,3 | | | |
| 8 | Целевая функция z , руб | 197375940 | | | |
| 9 | Ограничение по длине, $(n_1+m_2)l_m$ | 7,101 | | | |
| 10 | Ограничение по количеству | 100 | | | |
| 11 | | | | | |

Рис. 6. Результаты поиска решения с фиксированной поставкой

Fig. 6. Results of search for solution with fixed supply

ВЫВОДЫ

1. При построении модели динамического программирования, описывающей процесс поставки асфальтобетонной смеси из нескольких асфальтобетонных заводов для строительства дороги, выявлен ряд факторов, влияющих на конечные экономические результаты строительства:

- стоимость асфальтобетонной смеси у разных поставщиков;
- стоимость транспортирования, зависящая от расстояния перевозки и принятой транспортной схемы;
- различная сложность организации транспортного процесса и управления при доставке материала с одного и нескольких заводов;
- степень экономической стабильности поставщиков и их дисциплинированности при выполнении договорных обязательств.

2. При формировании транспортно-логистических цепей продвижения материальных ресурсов в логистической системе строительства

автомобильной дороги существенным и управляемым оказывается фактор транспортировки, который может быть принят в качестве доминирующего.

3. Логистические цепи дорожно-строительной организации могут объединять географически распределенные объекты, где приобретаются, преобразуются, хранятся или продаются сырье, готовые асфальтобетонные смеси и соединяющие эти объекты каналы распределения, по которым перемещается продукция. Управление объектами могут осуществлять подрядчики, поставщики, покупатели, представители третьих сторон или другие фирмы, с которыми заказчик имеет деловые отношения. Цель заказчика заключается в эффективном добавлении стоимости своим продуктам по мере того, как они перемещаются по цепи поставок и транспортируются на географически распределенные объекты дорожного строительства в необходимом количестве и комплектации, в требуемое время и по конкурентоспособной цене.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методические рекомендации о порядке расчета текущих цен на ресурсы, используемые для определения сметной стоимости строительства и составления сметной документации на основании нормативов расхода ресурсов в натуральном выражении. Введ. 01.01.2012. Минск: Минстройархитектуры, 2012. 28 с.
2. Инструкция «О порядке определения сметной стоимости строительства и составления сметной документации на основании нормативов расхода ресурсов в натуральном выражении» [Электронный ресурс]: утв. постановлением Мин-ва арх. и стр-ва Респ. Беларусь от 18.11.2011 № 51 // Национальный правовой интернет-портал Республики Беларусь. Режим доступа: <http://www.pravo.by/document/?guid=3871&p0=w21124543>.
3. Сергеев, В. И. Управление цепями поставок: учебник для бакалавров и магистров / В. И. Сергеев. М.: Издательство Юрайт, 2015. 479 с.
4. Царенкова, И. М. Основы развития логистических систем в дорожном хозяйстве / И. М. Царенкова. Гомель: БелГУТ, 2017. 211 с.
5. Ивуть, Р. Б. Логистические системы на транспорте / Р. Б. Ивуть, Т. Р. Кисель, В. С. Холупов. Минск: БНТУ, 2014. 76 с.
6. Царенкова, И. М. Определение рационального задела при прохождении материального потока по логистической цепи / И. М. Царенкова // Известия Гомельского гос. ун-та имени Ф. Скорины. Социально-экономические и общественные науки. 2016. № 2. С. 162–170.
7. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия: СТБ 1033–2004. Введ. 01.01.2005. Минск: Минстройархитектуры, 2004. 24 с.
8. Автомобильные дороги. Правила устройства: ТКП 059–2012 (02191). Введ. 01.07.2007. Минск: Белорус. дорожный инж.-техн. центр, 2007. 94 с.
9. Еловой, И. А. Логистика / И. А. Еловой. 2-е изд., перераб. и доп. Гомель: БелГУТ, 2011. 165 с.
10. Dynamics and Sustainability in International Logistics and Supply Chain Management. Proceedings of the 6th German-Russian Logistics and SCM Workshop DR-LOG 2011 in Bremen. Göttingen: Cuvillier Verlag, 2011. 510 p.
11. Мальцев, Ю. А. Экономико-математические методы проектирования транспортных сооружений / Ю. А. Мальцев. М.: Издат. центр «Академия», 2010. 320 с.

Поступила 04.09.2017

Подписана в печать 08.11.2017

Опубликована онлайн 28.11.2017

REFERENCES

1. *Methodical Recommendations on Procedure for Calculating Current Prices of Resources Used to Determine Estimated Cost of Construction and Estimate Documentation on the Basis of Norms for Consumption of Resources in Real Terms*. Minsk, Publishing House of Ministry of Architecture and Construction of the Republic of Belarus, 2012. 28 (in Russian).
2. Instructions “On Procedure for Determination of Estimated Cost in Construction and Preparation of Cost Estimating Documentation on the Basis of Norms for Consumption of Resources in Real Terms”: Decree of the Ministry of Architecture and Construction of the Republic of Belarus dated on 18.11.2011 No 51. *National Legal Internet Portal of the Republic of Belarus*. Available at: <http://www.pravo.by/document/?guid=3871&p0=w21124543> (in Russian).
3. Sergeev V. I. (2015) *Management Over Supply Chain*. Moscow, Urait Publ. 479 (in Russian).
4. Tsarenkova I. M. (2017) Main Principles for Development of Logistic Systems in Road Sector. Gomel, Belarusian State University of Transport. 211 (in Russian).
5. Ivut R. B., Kisel T. R., Kholupov V. S. (2014) *Logistic Systems in Transport*. Minsk, Belarusian National Technical University. 76 (in Russian).
6. Tsarenkova I. M. (2016) Determination of Rational Reserve for Material Flow Passing along Logistic Chain. *Izvestiya Gomel'skogo Gosud. Un-ta imeni F. Skoriny. Sotsial'no-Ekonomicheskie i Obshchestvennye Nauki = Proceedings of Francisk Skorina Gomel State University. Socio-Economic and Social Sciences*, (2), 162–170 (in Russian).
7. STB 1033–2004. *Bitumen Concrete Road, Airfield Mixes and Asphalt Concrete. Technical Specifications*. Minsk, Publishing House of Ministry of Architecture and Construction of the Republic of Belarus, 2004. 24 (in Russian).
8. ТКП 059–2012 (02191). *Automobile Roads. Rules for Design*. Minsk, Belarusian Engineering Technical Road Centre, 2007. 94 (in Russian).
9. Yelovoy I. A. (2011) *Logistics*. Gomel, Belarusian State University of Transport. 165 (in Russian).
10. *Dynamics and Sustainability in International Logistics and Supply Chain Management. Proceedings of the 6th German-Russian Logistics and SCM Workshop DR-LOG 2011 in Bremen*. Göttingen, Cuvillier Verlag, 2011. 510.
11. Maltsev Yu. A. (2010) *Economico-Mathematical Methods for Designing Transport Facilities*. Moscow, “Akademia” Publishing Centre. 320 (in Russian).

Received: 04.09.2017

Accepted: 08.11.2017

Published online: 28.11.2017

ТЕМАТИЧЕСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

МАШИНОСТРОЕНИЕ

| | |
|---|---|
| Алексеев Ю. Г., Королев А. Ю., Паршутю А. Э., Нисс В. С. Электролитно-плазменная обработка при нестационарных режимах в условиях высокоградиентного электрического поля | 5 |
| Артюхина Н. К., Пероса Л., Самбрано Л. Афокальные системы, составленные из зеркальных внеосевых параболоидов | 5 |
| Баханович А. Г., Кусяк В. А., Гурин А. Н., Ле Ван Нгиа. Электронное управление топливоподачей дизельного двигателя на основе программного ПИД-регулирования | 1 |
| Vasilevich Yu. V., Doumar S. S. Finite Element Method Analysis of Centreless-Lunette Turning of Heavy Shafts (Василевич Ю. В., Довнар С. С. Анализ методом конечных элементов бесцентровольного точения крупных валов) | 3 |
| Вершина Г. А., Быстренков О. С. Способы организации рабочего процесса газодизельного двигателя | 5 |
| Гершань Д. Г. Влияние состава топлива, содержащего бутанол, на показатели рабочего процесса дизеля | 3 |
| Гуськов В. В., Дзёма А. А., Колола А. С., Макаренко Р. Ю., Зезетко Н. И. Исследование процесса взаимодействия ведущих колес трактора с грунтовой поверхностью | 1 |
| Данильчик С. С., Шелег В. К. Оптимальные параметры асимметричных колебаний инструмента для стружкодробления при точении вязких конструкционных сталей | 5 |
| Девойно О. Г., Пантелеенко А. Ф. Исследование износостойких покрытий из диффузионно легированной аустенитной стали, полученных плазменным напылением и последующей лазерной обработкой | 3 |
| Доля К. В. Формализация гравитационной модели для расчета параметров междугородних пассажирских корреспонденций | 5 |
| Жданович Ч. И., Калинин Н. В. Анализ эффективности использования накопителей энергии на тракторе с электромеханической трансмиссией | 1 |
| Жук А. Н., Качанов И. В., Филипчик А. В. Технология реверсивно-струйной очистки стальных листов от коррозии перед лазерной резкой | 3 |
| Занковец П. В., Шелег В. К. Математическое моделирование и автоматизация технологической подготовки производства сварных конструкций | 1 |
| Исаевич Л. А., Сидоренко М. И. Интенсификация процесса разделения пруткового материала на мерные заготовки клиновидными ножами | 1 |
| Капский Д. В., Касьяник В. В., Евтух А. В., Капцевич О. А. Оценка эффективности движения транспортных потоков на основе обработки навигационных данных о движении транспортных средств | 5 |
| Капский Д. В., Навой Д. В. Развитие автоматизированной системы управления дорожным движением Минска как части интеллектуальной транспортной системы города | 1 |
| Карпунин И. И. Щелочная варка древесины в присутствии хинона и его влияние на качество целевого продукта, используемого для производства упаковки | 5 |
| Киселев М. Г., Богдан П. С., Крышнев М. М., Семенович В. П. Влияние электроэрозийной обработки изношенной поверхности рабочей части стального зубного бора на восстановление его режущей способности | 3 |
| Козерук А. С., Филонов И. П., Филонова М. И., Власовец Н. С., Мальпика Д. Л. Технологические особенности процесса одновременной двусторонней обработки высокоточных линз малой жесткости | 3 |

| | |
|---|---|
| Кузьменко В. Н., Мозалевский Д. В., Коржова А. В., Красильникова А. С., Ермакова Н. С., Киселевич Н. В., Горелик Е. Н., Гамульский И. К. Обоснование мероприятий по повышению качества и безопасности дорожного движения на магистральной улице районного значения в г. Минске | 1 |
| Кузьмич В. В., Карпунин И. И., Почанин Ю. С., Балабанова Т. Ф., Козлов Н. Г. Методика исследований химических характеристик полимерных материалов | 1 |
| Ловейкин В. С., Почка К. И. Синтез кулачкового приводного механизма роликовой формовочной установки с комбинированным режимом движения по ускорению третьего порядка | 3 |
| Минченя В. Т., Савченко А. Л., Минченя Н. Т. Оценка механических характеристик эндопротезов сосудов | 5 |
| Миронова М. Н. Экспериментальная апробация интеллектуальной системы для управления точностью механической обработки | 3 |
| Оковитый В. А., Пантелеенко Ф. И., Оковитый В. В., Асташинский В. М. Получение композиционного керамического материала для газотермического напыления | 3 |
| Оковитый В. А., Пантелеенко Ф. И., Оковитый В. В., Асташинский В. М., Храмов П. П., Черник М. Ю., Углов В. В., Шиманский В. И., Черенда Н. Н., Соболевский С. Б. Многослойные композиционные плазменные покрытия на элементах экранной защиты на основе диоксида циркония | 5 |
| Оковитый В. В., Девойно О. Г., Оковитый В. А., Пантелеенко Ф. И., Асташинский В. М. Разработка комплекса оборудования для нанесения плазменных керамических покрытий | 1 |
| Самотугин С. С., Гагарин В. А., Мазур В. А. Повышение стойкости крановых рельсов при использовании плазменной дискретной поверхностной обработки | 1 |
| Филонов И. П., Козерук А. С., Мальпика Д. Л., Филонова М. И., Кузнецик В. О., Диас Гонсалес Р. О. Математическое моделирование технологического оборудования для обработки оптических деталей | 5 |
| Чумаченко И. В., Давидич Ю. А., Галкин А. С., Давидич Н. В. Оценка качества перевозки пассажиров городским транспортом при различном количестве транспортных средств, работающих на маршруте | 5 |

СТРОИТЕЛЬСТВО

| | |
|---|---|
| Александров Д. Ю. Перспективы применения комплексно-модифицированного песчаного асфальтобетона в дорожном строительстве | 4 |
| Борухова Л. В., Шибeko А. С. Определение воздухообмена в помещениях общественных зданий с большой площадью светопрозрачных конструкций | 2 |
| Броневицкий А. П. Временное усиление конструкций при реконструкции зданий | 2 |
| Gasii G. M. Structural and Design Specifics of Space Grid Systems (Гасий Г. М. Особенности конструктивных решений и проектирования пространственных стержневых систем) | 6 |
| Грахов В. П., Кислякова Ю. Г., Симакова У. Ф., Мушаков Д. А. Развитие системы контроля за ходом строительно-монтажных работ на основе комплексного применения программных продуктов Primavera P6 Professional R8.3.2 и ArchiCAD 17.0.0 | 6 |
| Гречухин В. А., Лосев А. Ю. Исследование процесса надвижки сталежелезобетонного пролетного строения больших мостов | 6 |
| Каширипур М. М. Пути совершенствования нормативно-правовой базы градостроительного проектирования в Иране и ее соответствие концепции устойчивого развития | 6 |
| Ляхевич Г. Д., Лиштван И. И., Ляхевич А. Г., Дударчик В. М., Крайко В. М., Звонник С. А. Технология и эффективность использования золы бурых углей Лельчицкого месторождения в цементе и бетонных смесях | 2 |
| Михневич Э. И. Методика гидравлического расчета обвалования рек и определения параметров оградительных дамб | 4 |
| Осипов С. Н. Влияние стохастических характеристик свойств материалов, изделий и процессов на оценку нормативных параметров | 4 |
| Осипов С. Н., Поздняков Д. А. Вероятностная оценка необходимости и вида ремонта здания и его элементов | 2 |
| Пиир А. Э., Козак О. А., Кунтыш В. Б. Пути снижения нормативных теплопотерь в жилых зданиях | 2 |

| | |
|--|---|
| Пшембаев М. К. Физико-химические основы процессов защиты поверхностного слоя дорожных бетонных покрытий пропиточными составами | 2 |
| Пшембаев М. К., Ковалев Я. Н., Шевчук Л. И. Анализ напряженного состояния поверхностного слоя дорожных бетонных покрытий при температурном воздействии | 4 |
| Рутковский М. А. Гелиосистемы жилых домов для эксплуатационных условий Республики Беларусь | 4 |
| Сизов В. Д., Нестеров Л. В., Копко В. М. Влияние местоположения неперфорированного экрана на процесс теплопередачи в наружных ограждающих конструкциях зданий | 2 |
| Снежков Д. Ю., Леонович С. Н. Мультиволновой ультразвуковой контроль бетона | 4 |
| Солодка М. Г. Определение наиболее значимых факторов при анализе эксплуатационного состояния автомобильных дорог | 6 |
| Хасеневич Л. С. О расчете кольцевых (замкнутых) в плане фундаментов | 2 |
| Khroustalev B. M., Leonovich S. N., Potapov V. V., Grushevskaya E. N. Composite Materials Based on Cement Binders Modified with SiO ₂ Nanoadditives (Хрусталева Б. М., Леонович С. Н., Потапов В. В., Грушевская Е. Н. Композиционные материалы на основе цементных вяжущих, модифицированных нанодобавками SiO ₂) | 6 |
| Khroustalev B. M., Leonovich S. N., Yakovlev G. I., Polianskich I. S., Lahayne O., Eberhardsteiner J., Skripkiunas G., Pudov I. A., Karpova E. A. Structural Modification of New Formations in Cement Matrix Using Carbon Nanotube Dispersions and Nanosilica (Хрусталева Б. М., Леонович С. Н., Яковлев Г. И., Полянских И. С., Лахайн О., Эберхардштайнер Й., Скрипкинас Г., Пудов И. А., Карпова Е. А. Структурная модификация новообразований в цементной матрице с использованием дисперсии углеродных нанотрубок и нанокремнезема) | 2 |
| Щербач Е. С., Потаев Г. А. Особенности формирования и развития районов жилой застройки в пригородных зонах крупных городов Беларуси | 4 |

ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ

| | |
|---|---|
| Лобатый А. А., Степанов В. Ю. Параметрическая идентификация стохастической системы неградиентным случайным поиском | 3 |
|---|---|

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ

| | |
|---|---|
| Доброго К. В. Модель электрической нагрузки жилищно-коммунального объекта для исследования систем «генератор – накопитель – потребитель» методом Монте-Карло | 2 |
| Мазуренко А. А., Смирнов Е. Т. Исследование магнитного режима трехфазного трансформатора с симметричным магнитопроводом рамной конструкции | 2 |

ЭКОНОМИКА ПРОМЫШЛЕННОСТИ

| | |
|---|---|
| Божанов П. В. Логистическая деятельность в Беларуси: тенденции и проблемы | 6 |
| Кажуро Н. Я. Экономический рост на основе инновационного развития – основа макроэкономической стабилизации и устойчивости национальной экономики | 6 |
| Мирецкий И. Ю., Попов П. В., Ивуть Р. Б. К проблеме оптимизации региональной складской и автотранспортной инфраструктуры | 6 |
| Царенкова И. М. Оптимизация поставок материальных ресурсов в логистической системе строительства автомобильных дорог | 6 |
| Ци Ци, Алексеев Ю. Г., Дудко Н. А. Функционирование зоны развития новых и высоких технологий «Китайско-сингапурский индустриальный парк Сучжоу» | 3 |
| Швайба Д. Н. Проблемы согласования целей и жизненных интересов при обеспечении социально-экономической безопасности | 6 |

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

| | |
|---|---|
| Василевич Ю. В., Остриков О. М. Условие равновесия остаточного краевого клиновидного нанодвойника в постдеформированном твердом теле | 4 |
| Мелешко И. Н., Нифонтова Д. А., Сорокин В. В. К приближенному интегрированию сильно осциллирующих функций | 4 |
| Покатилов А. Е., Киркор М. А., Ильенков В. И. Динамическое усиление движения биомеханической системы | 4 |
| Гундина М. А. Энергетические инварианты в теории упругопластических трещин | 4 |