

Вестник БарГУ

Научно-практический журнал

Издаётся с марта 2013 года
Выходит 2 раза в год

№ 2 (10), 2021

Серия «Технические науки»

Учредитель: учреждение образования
«Барановичский государственный университет».

Адрес редакции:
ул. Войкова, 21, 225404 г. Барановичи.
Телефон: +375 (163) 64 34 77.
E-mail: vestnikbargu@gmail.com .

Подписные индексы: 00999 — для индивидуальных подписчиков; 009992 — для организаций.
Свидетельство о регистрации средств массовой информации № 1533 от 30.07.2012, выданное Министерством информации Республики Беларусь.

В соответствии с приказом Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 21 января 2015 г. № 16 научно-практический журнал «Вестник БарГУ» серия «Технические науки» включён в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим наукам.

Научно-практический журнал «Вестник БарГУ» включен в РИНЦ (Российский индекс научного цитирования), лицензионный договор № 06-01/2016.

Выходит на русском и английском языках.
Распространяется на территории Республики Беларусь.

Заведующий редакционно-издательской группой А. Ю. Сидоренко
Технический редактор Л. Н. Щербук
Компьютерная вёрстка С. М. Глушак
Корректор Н. Н. Колодко

Подписано в печать 03.11.2021. Формат 60 × 84 1/8.
Бумага ксероксная. Печать цифровая.
Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 14,50. Уч.-изд. л. 9,30.
Тираж 100 экз. Заказ . Цена свободная.

Полиграфическое исполнение: Гродненское областное унитарное полиграфическое предприятие «Слонимская типография».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/203 от 07.03.2014, № 2 от 25.02.2014. Адрес: ул. Хлюпина, 16, 231800 г. Слоним, Гродненская обл.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Кочурко В. И. (гл. ред. журн.), доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик Белорусской инженерной академии, академик Международной академии технического образования, академик Международной академии наук педагогического образования, академик Академии экономических наук Украины, заслуженный работник образования Республики Беларусь, профессор кафедры технического обеспечения сельскохозяйственного производства и агрономии (учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь).

Климук В. В. (зам. гл. ред. журн.), кандидат экономических наук, доцент, первый проректор (учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь).

Алифанов А. В. (гл. ред. сер.), лауреат Государственной премии Республики Беларусь в области науки и техники, доктор технических наук, профессор (учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь).

Горбач Ю. Е. (отв. секретарь сер.) (учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь).

Зубрицкая Л. С. (ред. текстов на англ. яз.) (учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь).

Богданович И. А. (отв. за направление «Машиностроение и машиноведение»), кандидат технических наук, доцент (учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь); **Дубень И. В.** (отв. за направление «Процессы и машины агроинженерных систем»), кандидат технических наук, доцент (учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь).

Анискович Г. И., кандидат технических наук, доцент (учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь);

Белый А. В., член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор (государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси», Минск, Республика Беларусь); **Девойно О. Г.**, доктор технических наук, профессор, заведующий научно-исследовательской инновационной лабораторией плазменных и лазерных технологий (филиал Белорусского национального технического университета «Научно-исследовательская часть», Минск, Республика Беларусь);

Дремук В. А., кандидат технических наук, доцент (учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь); **Жигалов А. Н.**,

кандидат технических наук, доцент (учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь); **Калугин Ю. К.**, кандидат технических наук, доцент (учреждение образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы», Гродно, Республика Беларусь);

Карташевич А. Н., доктор технических наук, профессор (учреждение образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия», Горки, Республика Беларусь);

Клочков А. В., доктор технических наук, профессор (учреждение образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия», Горки, Республика Беларусь);

Клубович В. В., академик Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор (государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси», Минск, Республика Беларусь);

Сиваченко Л. А., доктор технических наук, профессор (межгосударственное образовательное учреждение высшего образования «Белорусско-Российский университет», Могилев, Республика Беларусь);

Томило В. А., доктор технических наук, профессор (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь); **Шелег В. К.**, доктор технических наук, профессор (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь).

Promoter: Educational institution
"Baranovichi State University".

Editorial address:
21 Voykova Str., 225404 Baranovichi.
Phone: +375 (163) 64 34 77.
E-mail: vestnikbargu@gmail.com .

Subscription indices: 00999 — for individual subscribers;
009992 — for companies.
The certificate of the registration of mass media № 1533
of 30.07.2012 issued by the Ministry of Information
of Belarus.

In compliance with the order of the Higher Attestation
Commission of the Republic of Belarus from January 21,
2015 № 16 the scientific and practical journal "BarSU
Herald. Engineering Series" is included into the List of
scientific publications of the Republic of Belarus for
publishing the results of theses research on engineering
sciences (mechanical engineering and machines,
processes and machines of agroengineering systems).

Scientific-and-practical journal "BarSU Herald"
is included into RSCI (Russian Science Citation Index),
license agreement № 06-01/2016.

Issued in Russian and English. The journal is distributed
on the territory of the Republic of Belarus.

Managing editor A. Y. Sidorenko
Technical editor L. N. Scherbuk
Desktop Publishing S. M. Glushak
Proofreader N. N. Kolodko

Signed print 03.11.2021. Format 60 × 84 1/8. Paper xerox.
Digital printing. Headset Times. Conv. pr. s. l. 14,50.
Acc.-pub. s. l. 9,30. Circulation of 100 copies.
Order . Free price.

Printing performance: Grodno Regional Printing Unitary
Enterprise "Slonim printing establishment". The state
registration certificate of the publisher, manufacturer and
publications distributor № 1/203 of 07.03.2014, № 2
of 25.02.2014. Address: 16 Hlyupin St., 231800 Slonim,
Grodno region.

EDITORIAL BOARD

Kochurko V. I. (*editor-in-chief*), DSc in Agriculture, Professor, Academician of the Belarusian Academy of Engineering, Academician of the International Academy of Technical Education, academician of the International Academy of Pedagogical Education, Academician of the Academy of Economic Sciences of Ukraine, Honored Worker of Education of the Republic of Belarus, Professor of Department of Technical Support of Agricultural Production Processes and Agronomic Sciences (Educational institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus).

Klimuk V. V. (*deputy editor-in-chief*), PhD in Economics, Associate Professor, first vice-rector (Educational institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus).

Alifanov A. V. (*the series editor-in-chief*), Laureate of the State Prize of the Republic of Belarus in the field of science and technology, Doctor of Technical Sciences, Professor (Educational institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus).

Gorbach Yu. E. (*responsible for the topic area "Engineering Sciences"*) (Educational institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus).

Zubritskaya L. S. (*ed. of texts in English*) (Educational institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus).

Bogdanovich I. A. (*responsible for the area "Mechanical Engineering and Machine Science"*), PhD in Technical Sciences, Associate Professor (Educational institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus); **Duben I. V.** (*responsible for the area "Processes and Machines of Agro engineering Systems"*), PhD in Technical Sciences, Associate Professor (Educational institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus).

Aniskovich G. I., PhD in Technical Sciences, Associate Professor (Educational institution "Belarusian State Agrarian Technical University", Minsk, the Republic of Belarus); **Bely A.V.**, A. M. of the National Academy of Sciences of Belarus, Doctor of Technical Sciences, Professor (State Scientific Institution "Institute of Physics and Technology of the National Academy of Sciences of Belarus", Minsk, the Republic of Belarus); **Devoino O. G.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Innovative Research Laboratory of Plasma and Laser Technologies (branch of the Belarusian National Technical University "Research Unit", Minsk, the Republic of Belarus); **Dremuk V. A.**, PhD in Technical Sciences, Associate Professor (Educational institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus); **Zhigalov A. N.**, PhD in Technical Sciences, Associate Professor (Educational institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus); **Kalugin Yu. K.**, PhD in Technical Sciences, Associate Professor (Educational institution "Yanka Kupala Grodno State University", Grodno, the Republic of Belarus); **Kartashevich A. N.**, Doctor of Technical Sciences, Professor (Educational institution "Belarusian State of the Orders of the October Revolution and Labor Red Banner Agricultural Academy", Gorki, the Republic of Belarus); **Klochkov A.V.**, Doctor of Technical Sciences, Professor (educational institution "Belarusian State of the Orders of the October Revolution and Labor Red Banner Agricultural Academy", Gorki, the Republic of Belarus); **Klubovich V. V.**, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, Doctor of Technical Sciences, Professor (State Scientific Institution "Institute of Physics and Technology of the National Academy of Sciences of Belarus", Minsk, the Republic of Belarus); **Sivachenko L. A.**, Doctor of Technical Sciences, Professor (Interstate educational institution of higher education "Belarusian-Russian University", Mogilev, the Republic of Belarus); **Tomilo V. A.**, Doctor of Technical Sciences, Professor (Belarusian National Technical University, Minsk, the Republic of Belarus); **Sheleg V. K.**, Doctor of Technical Sciences, Professor (Belarusian National Technical University, Minsk, the Republic of Belarus).

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Алифанов А. В., Милюкова А. М., Ционенко Д. А. Модель воздействия импульсного магнитного поля на изделие из титанового сплава

Булойчик И. А. Анализ изменения структурообразования интерметаллидных слоев на основе цинка при цинковании термоупрочненных стальных изделий диффузионным способом из газовой фазы

Дубень И. В., Дремук В. А. Расчет числа витков пружин кручения

Жигалов А. Н., Горавский И. А. Экспериментальные исследования износа осевого фрезерного инструмента из быстрорежущей стали Р6М5, упрочненного аэродинамическим звуковым методом

Жигар В. И., Довгяло В. А., Моисеенко В. Л. Определение экономической эффективности практического применения методов повышения производительности звеносборочной линии КБ03

Качанов И. В., Филипчик А. В., Шаталов И. М., Булыга Д. М., Ковалевич В. С., Недвецкий С. В., Денисов В. А. Гидроабразивная технология очистки металлических поверхностей гребных винтов от коррозии

Михайлов М. И., Тетерич Н. Э., Воробей В. И. К вопросу о диагностике резцов по силе резания в условиях роботизированного технологического комплекса

Сиваченко Л. А., Абдукаликова Г. М., Сотник Л. Л., Дыдышко И. М. Проблемы, задачи и пути развития пружинных технологических аппаратов

Сотник Л. Л., Русан С. И., Сиваченко Л. А. Анализ пропускной способности вибровалкового измельчителя с переменными параметрами движения вала

Чаевский В. В., Кулешов А. К., Рудак П. В., Барчик С., Коледа П. Влияние ионно-плазменной обработки лезвий ножей на режущую способность фрезы при фрезеровании древесины

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

Дубень И. В. Агротехническая и энергетическая оценка работы плужных корпусов с углоснимами

Крупенин П. Ю. Анализ фазового портрета пульсаций доильного аппарата

Филиппов А. И., Лещик С. Д., Калугин Ю. К., Дубень И. В. Исследование и разработка модели по оптимизации процесса разбрасывания удобрений

MACHINE BUILDING AND ENGINEERING SCIENCE

4 Alifanov A. V., Miliukova A. M., Tsionenko D. A. Model of impact of pulsed magnetic field on titanium alloy product

12 Bulochyk I. A. Analysis of changes in the structure formation of zinc-based intermetallic layers during galvanizing of heat-hardened steel products by diffusion method from the gas phase

17 Duben I. V., Dremuk V. A. Calculation of the number of torsion springs

24 Jigalov A. N., Goravskii I. A. Experimental study of the wear of an axial milling tool made of high-speed steel R6M5, hardened by aerodynamic sound method

42 Zhihar V. I., Dovgualo V. A., Moiseenko V. L. determination of economic efficiency of practical application of methods for improving the productivity of the link assembly line KB03

51 Kachanov I. V., Filipchik A. V., Shatalov I. M., Bulyga D. M., Kovalevich V. S., Nedvetsky S. V., Denisov V. A. Hydro-abrasive technology for cleaning metal surfaces of propellers from corrosion

60 Mikhailov M. I., Teterich N. Э., Vorobei V. I. To the question of cutters diagnostics by cutting force in conditions of a robotic technological complex

67 Sivachenko L. A., Abdalikova G. M., Sotnik L. L., Dydyshko I. M. Problems, tasks and ways of development of spring technological apparatus

78 Sotnik L. L., Rusan S. I., Sivachenko L. A. Analysis of the throughput of a vibrating grinder with variable parameters of the roll movement

88 Chayevski V. V., Kuleshov A. K., Rudak P. V., Barcik Š., Koleda P. The effect of ion-plasma treatment of the blades on the cutting ability of the milling cutter during wood milling

PROCESSES AND MACHINES OF AGROENGINEERING SYSTEMS

95 Duben I. V. Agrotechnical and energy assessment of the work of plough bodies with trashboard

102 Krupenin P. Y. Analysis of the phase portrait of milking machine pulsations

108 Filippov A. I., Leshchik S. D., Kalugin Yu. K., Duben I. V. Research and development of a model for optimizing the fertilizer spreading process

УДК 658.5.012.14

В. И. Жигар; В. А. Довгяло, доктор технических наук, профессор;**В. Л. Моисеенко**, кандидат технических наук, доцентУчреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», ул. Кирова, 34,
246653 Гомель, Республика Беларусь, +375 (29) 790 71 49, viktor.zhigar@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЗВЕНОСБОРОЧНОЙ ЛИНИИ КБ03

В 2012 году на Белорусской железной дороге была введена в эксплуатацию полуавтоматическая звено-сборочная линия КБ03 для сборки рельсошпальной решетки на железобетонных шпалах. Поиск путей повышения производительности ее работы становится все более актуальным, поскольку на Белорусской железной дороге существенно выросли грузоперевозки, увеличились объемы работ по ремонту железнодорожных путей. Для изучения работы звено-сборочной линии КБ03 и поиска путей повышения производительности ее работы с помощью системы имитационного моделирования «Tecnomatix Plant Simulation» была построена имитационная модель звено-сборочной линии, выполнена валидация модели. На основании анализа результатов проведенных на модели экспериментов были сформированы решения по управлению производственным процессом работы звено-сборочной линии КБ03 для получения максимального увеличения ее производительности. Выполнен расчет экономической эффективности внедрения на производстве предлагаемых изменений и корректировок технологического процесса работы звено-сборочной линии.

Ключевые слова: звено-сборочная линия КБ03; имитационная модель; повышение производительности; результаты экспериментов; практическое применение; экономическая эффективность.

Рис. 4. Табл. 7. Библиогр.: 12 назв.

V. I. Zhigar; V. A. Dovgualo, Doctor of Technical Sciences, Professor;**V. L. Moiseenko**, PhD in Technical Sciences, Associate ProfessorBelarusian State University of Transport, 34 Kirova Str., 246653 Gomel, the Republic of Belarus,
+375 (29) 790 71 49, viktor.zhigar@mail.ru

DETERMINATION OF ECONOMIC EFFICIENCY OF PRACTICAL APPLICATION OF METHODS FOR IMPROVING THE PRODUCTIVITY OF THE LINK ASSEMBLY LINE KB03

In 2012, a semi-automatic link assembly line KB03 was put into operation on the Belarusian Railways to assemble a rail and sleep grid on reinforced concrete sleepers. The search for ways to increase the productivity of its work is becoming more and more urgent, since cargo transportation on the Belarusian Railway has significantly increased, the volume of work on the repair of railway tracks has increased. To study the operation of the assembly line KB03 and search for ways to increase its performance with the use of the Tecnomatix Plant Simulation system, a simulation model of the assembly line was built, and the model was validated. Based on the analysis of the results of the experiments carried out on the model, solutions were formed to control the production process of the KB03 link assembly line to maximize its productivity. The calculation of the economic efficiency of the implementation of the proposed changes and adjustments of the technological process of the link assembly line were performed.

Key words: link assembly line KB03; simulation model; productivity increase; experimental results; practical application; economic efficiency.

Fig. 4. Table 7. Ref.: 13 titles.

Введение. В 2012 году на производственной базе путевой машинной станции Барановичей в целях увеличения производительности сборки рельсошпальной решетки (далее — РШР) и повышения уровня механизации труда на Белорусской железной дороге была введена в эксплуатацию полуавтоматическая звено-сборочная поточная линия КБ03 (рисунок 1), сконструированная на базе звено-сборочной линии 1ПЗЛ-100.



Рисунок 1. — Звеносборочная линия КБ03

Линия КБ03 предназначена для сборки звеньев РШР колеи 1 520 мм на рельсах типов Р65/Р50 со креплением СБ-3 и эпюрой 1 840/2 000 шпал / км. Линия представляет собой систему агрегатов, станков и механизмов, установленных в определенной технологической последовательности и связанных между собой межоперационными транспортирующими устройствами [1].

Материалы и методы исследования. Наиболее рациональным инструментом для исследования технологических процессов сборки РШР на звеносборочной линии КБ03 [2; 3] в целях их оптимизации для сокращения затрат и повышения производительности является создание цифровой имитационной модели [4] с помощью программной системы имитационного моделирования “Тесноматix Plant Simulation” [5; 6]. Разработанная по методике [7; 8] имитационная модель звеносборочной линии КБ03 (рисунок 2) дает возможность проведения необходимых исследований реального объекта на компьютере, без вмешательства в существующий производственный процесс, а также осуществления сбора необходимых статистических данных в процессе моделирования всей моделируемой системы и ее отдельных объектов.

Для определения экономической эффективности результатов экспериментов необходимо рассчитать универсальный показатель работы участка сборки путевой решетки — стоимость одного километра собранной РШР на звеносборочной линии, определяемую по формуле

$$C = \Pi / \Sigma Z, \quad (1)$$

где Π — производительность звеносборочной линии за рассматриваемый период (2 008 ч), км;
 ΣZ — суммарные затраты предприятия на сборку РШР за рассматриваемый период (2 008 ч), р.

Основными статьями расходов предприятия при сборке РШР на звеносборочной линии являются: 1) электроэнергия, расходуемая при работе звеносборочной линии; 2) амортизационные отчисления; 3) заработная плата работникам, занятым на звеносборочной линии; 4) материалы, необходимые для сборки РШР.

Расход электроэнергии при работе звеносборочной линии постоянный и не зависит от ее производительности. Расходы предприятия на электроэнергию, потребляемую звеносборочной линией за рассматриваемый период, составляют:

$$150 \cdot 2\,008 \cdot 0,263 = 79\,215,60 \text{ р.}$$

где 150 — номинальная установленная мощность звеносборочной линии согласно [1];
 2 008 — количество рабочих часов в 2019 году согласно [11];
 0,263 — средняя цена за 1 кВт электроэнергии для промышленных предприятий за 2019 год.

Амортизационные отчисления предприятия на звеносборочную линию за 2019 год составили 386 578,17 р. Данные расходы не зависят от производительности звеносборочной линии.

Расчет заработной платы работников выполнен в соответствии с [12] на основе статистических данных по заработной плате на предприятии за 2019 год. Период расчета — 2 008 ч. Исходные данные для расчета заработной платы работников, занятых на звеносборочной линии, представлены в таблице 2.

Т а б л и ц а 2. — Исходные данные для расчета заработной платы работников

Вид оплаты	Монтер пути			Машинист крана	Оператор
	третьего разряда	четвертого разряда	пятого разряда		
Средний процент выработки, %	131,6	131,6	131,6	—	—
Часовая ставка	2,8956	3,1070	3,3183	4,0422	3,824
Часовая ставка с учетом процента выработки	3,8106	4,0888	4,3669	—	—
Доплата рабочим со сдельной оплатой труда за работу с вредными и (или) опасными условиями труда за каждый час работы во вредных условиях, р.	0,17	0,17	0,17	—	—
Средняя премия рабочим с повременной/сдельно-премиальной оплатой труда, %	27,50	22,29	24,44	9,24	12,83
Часовая ставка без повышающего коэффициента	—	—	—	2,8716	3,1109
Средний процент надбавки квалифицированным рабочим за профессиональное мастерство, %	17	21	25	16	10
Средний процент надбавки к заработной плате за стаж работы, %	15,71	25,45	28,33	23,75	20,00

Заработная плата работников, занятых на звеносборочной линии, представлена в таблице 3. Общие затраты предприятия на заработную плату работникам, занятым на звеносборочной линии, согласно проведенным экспериментам, представлены в таблице 4.

Информация о количестве материалов верхнего строения пути (далее — МВСП), необходимых для сборки РШР на звеносборочной линии, согласно проведенным экспериментам, представлена в таблице 5.

Т а б л и ц а 3. — Заработная плата работников, р.

Показатель	Монтер пути			Машинист крана пятого разряда	Оператор пятого разряда
	третьего разряда	четвертого разряда	пятого разряда		
Оплата по сдельным расценкам / тарифным ставкам	7 651,68	8 210,31	8 768,74	8 116,74	7 678,59
Премия рабочим с повременной/сдельно-премиальной оплатой труда	2 198,09	1 906,17	2 226,51	749,99	985,16
Надбавка квалифицированным рабочим за профессиональное мастерство	988,44	1 310,16	1 665,79	922,59	624,67
Надбавка к заработной плате за стаж работы	913,44	1 587,79	1 887,67	1 927,73	1 535,72
Доплата рабочим со сдельной оплатой труда за работу с вредными и (или) опасными условиями труда	341,36	341,36	341,36	—	—
ВСЕГО	12 093,01	13 355,79	14 890,07	11 717,05	10 824,14

Т а б л и ц а 4. — Общие затраты на заработную плату, р.

Наименование эксперимента	Затраты на заработную плату
При фактических условиях	175 708,70
При использовании работников четвертого квалификационного разряда	184 548,20
При использовании работников пятого квалификационного разряда	195 288,20
При надежности технических средств 95 %	175 708,70
При использовании двух дополнительных работников	199 894,80
При оптимальных условиях	219 474,22

Т а б л и ц а 5. — Количество необходимых МВСП для сборки РШР

Наименование эксперимента	Шпала, шт.	Пружинная клемма, шт.	Изолятор, шт.	Изолирующая прокладка, шт.	Рельс Р65, КПУ
При фактических условиях	141 174	564 696	564 696	282 348	76,725
При использовании работников четвертого квалификационного разряда	143 566	574 264	574 264	287 132	78,025

Окончание таблицы 5

Наименование эксперимента	Шпала, шт.	Пружинная клемма, шт.	Изолятор, шт.	Изолирующая прокладка, шт.	Рельс Р65, КПУ
При использовании работников пятого квалификационного разряда	145 360	581 440	581 440	290 720	79
При надежности технических средств 95 %	141 174	564 696	564 696	282 348	76,725
При использовании двух дополнительных работников	145 774	583 096	583 096	291 548	79,225
При оптимальных условиях	149 132	596 528	596 528	298 264	81,05

Стоимость МВСП, установленная в соответствии с актом стоимости материалов верхнего строения пути, представлена в таблице 6.

Общие затраты предприятия на МВСП, необходимые для сборки РШР на звеносборочной линии, согласно проведенным экспериментам, представлены в таблице 7.

На рисунке 3 представлен график, отображающий затраты предприятия по основным статьям расходов при сборке РШР на звеносборочной линии согласно проведенным экспериментам.

Т а б л и ц а 6. — Стоимость МВСП

МВСП	Единица измерения	Стоимость за единицу, р.
Шпала	шт.	96,93
Пружинная клемма	шт.	2,93
Изолятор	шт.	0,46
Изолирующая прокладка	шт.	2,45
Рельс Р65	КПУ	7 839,14

Т а б л и ц а 7. — Общие затраты предприятия на МВСП

Наименование эксперимента	Затраты на МВСП, р.
При фактических условиях	40 348 388,52
При использовании работников четвертого квалификационного разряда	41 032 036,68
При использовании работников пятого квалификационного разряда	41 544 772,80
При надежности технических средств 95 %	40 348 388,52
При использовании двух дополнительных работников	41 663 096,52
При оптимальных условиях	42 622 833,36

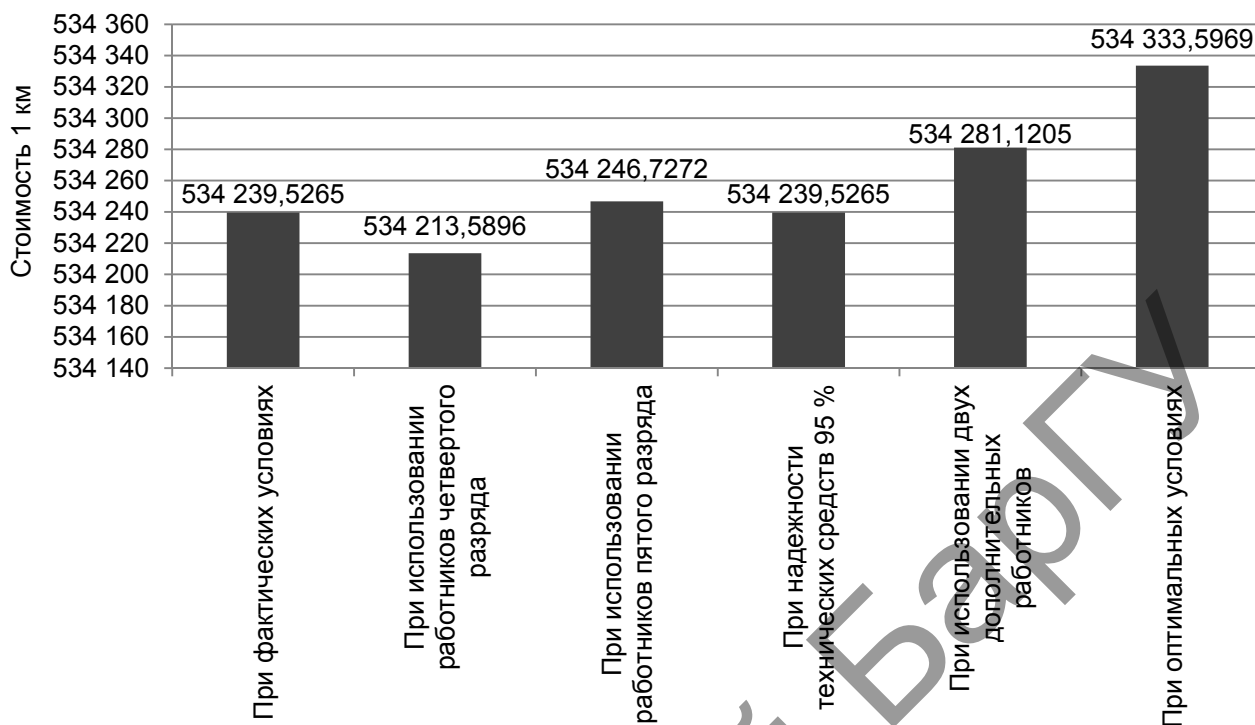


Рисунок 3. — Общие затраты предприятия

По формуле (1) определена стоимость одного километра собранной РШР для каждого проведенного эксперимента. Результаты расчетов представлены на рисунке 4.

При использовании на линии работников (монтеров пути, стропальщиков) четвертого квалификационного разряда производительность звеносборочной линии относительно фактической увеличивается на 1,69 %, при этом затраты предприятия на один километр собираемой РШР уменьшаются на 0,0049 % (минус 25,94 р. в стоимостном выражении).

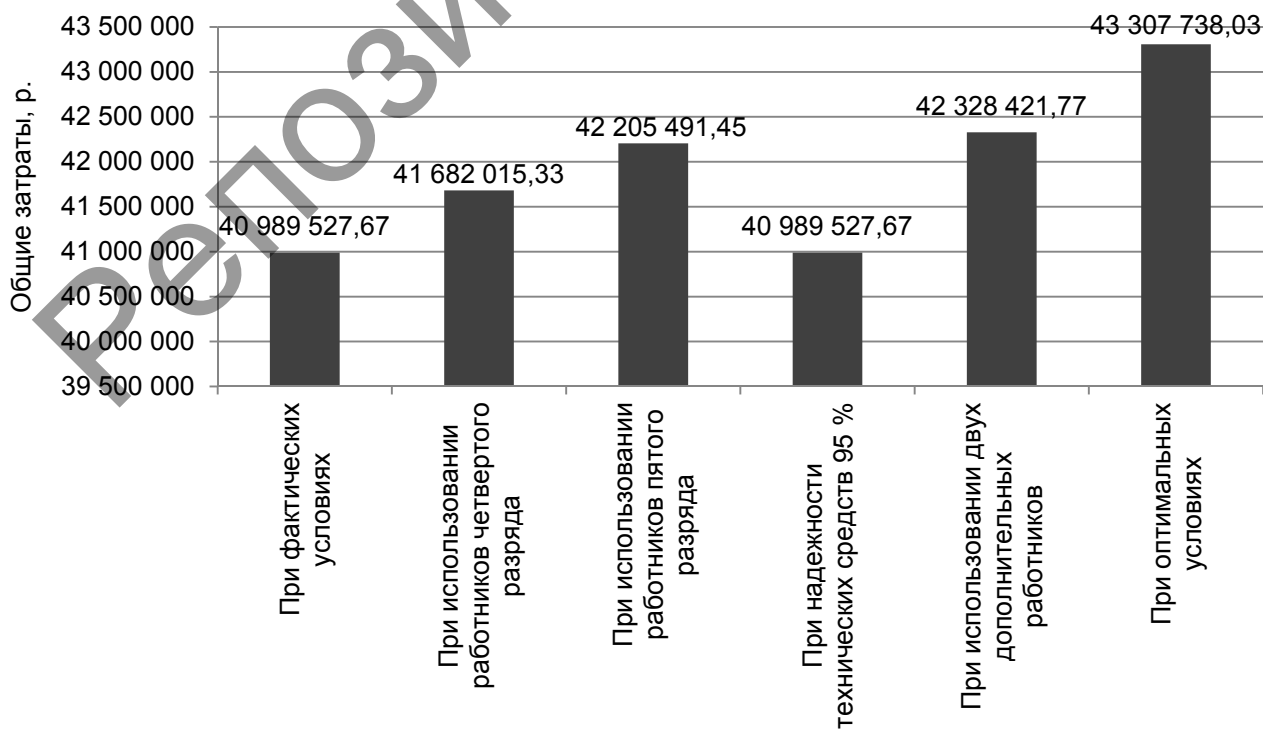


Рисунок 4. — Стоимость одного километра РШР

При использовании на линии работников (монтеров пути, стропальщиков) пятого квалификационного разряда производительность звеносборочной линии относительно фактической увеличивается на 2,97 %, при этом затраты предприятия на один километр собираемой РШР увеличиваются на 0,0013 % (плюс 7,20 р. в стоимостном выражении).

При надежности технических средств 95 % производительность звеносборочной линии относительно фактической не изменяется, затраты предприятия на один километр собираемой РШР также не изменяются.

При использовании на линии двух дополнительных работников (монтеров пути третьего квалификационного разряда) производительность звеносборочной линии относительно фактической увеличивается на 3,26 %, при этом затраты предприятия на один километр собираемой РШР увеличиваются на 0,0078 % (плюс 41,59 р. в стоимостном выражении).

При оптимальных условиях (монтеры пути, стропальщики пятого квалификационного разряда, два дополнительных монтера пути третьего квалификационного разряда, надежность технических средств 95 %) производительность звеносборочной линии относительно фактической увеличивается на 5,64 %, при этом затраты предприятия на один километр собираемой РШР увеличиваются на 0,0176 % (плюс 94,07 р. в стоимостном выражении).

Заключение. Увеличение затрат предприятия при внесении изменений в технологический процесс сборки РШР на звеносборочной линии на один километр собираемой РШР относительно фактических значительно меньше 1 %. Таким образом, согласно результатам проведенных экспериментов, увеличение производительности сборки РШР на звеносборочной линии существенно перекрывает рост затрат предприятия на один километр собираемой РШР, что говорит об экономической эффективности предлагаемых изменений технологического процесса сборки РШР на звеносборочной линии.

Список цитируемых источников

1. Открытое акционерное общество «Барановичский завод автоматических линий». Технологический комплекс для сборки звеньев железнодорожного пути с железобетонными шпалами : рук. по эксплуатации. КБ03-00.000 РЭ. — Барановичи, 2011.
2. Имитационное моделирование организации производственных процессов машиностроительных предприятий в инструментальной среде “Tecnomatix Plant Simulation” : лаборатор. практикум / И. Г. Абрамова [и др.]. — Самара : Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2014. — 80 с.
3. Агапов, А. С. Имитационное моделирование : учеб. и практикум для академ. бакалавриата / А. С. Агапов. — М. : Юрайт, 2014. — 389 с.
4. Журавлев, С. С. Краткий обзор методов и средств имитационного моделирования производственных систем [Электронный ресурс] / С. С. Журавлев // Имитационное моделирование технических систем и технологических процессов / Конструктор.-технолог. ин-т вычисл. техники СО РАН, Новосибирск. — 2010. — Режим доступа: simulation.su/uploads/files/default/obzor-2010 . — Дата доступа: 03.08.2019.
5. Официальный сайт Siemens [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [Plant Simulation—http://www.plm.automation.siemens.com/ru](http://www.plm.automation.siemens.com/ru) . — Дата доступа: 03.08.2019.
6. Сырецкий, Г. А. Стратегии и методы Plant Simulation как современная основа обучения имитационному моделированию / Г. А. Сырецкий // Имитационное моделирование. Теория и практика : сб. докл. IV Всерос. науч.-практ. конф. ИММОД-2009, Санкт-Петербург, 2009 г. / ОАО «ЦТСС». — СПб., 2009. — Т. 2. — С. 254—257.
7. Law, A. M. How to build valid and credible simulation models / A. M. Law // Proc. of the Winter Simulation Conf. — Miami (USA), 7—10 Dec. 2008. — P. 39—47.
8. Конюх, В. Л. Методы имитационного моделирования систем. Применение программных продуктов / В. Л. Конюх, Я. Б. Игнатъев, В. В. Зиновьев ; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Кемер. науч. центр. — Кемерово : КемНЦ, 2003.
9. Яцкив, И. В. Проблема валидации имитационной модели и ее возможные решения / И. В. Яцкив // Теория имитационного моделирования: ИММОД-2003 : I Всерос. науч.-практ. конф. по вопросам применения ими-

тацион. моделирования в промышленности ; ФГУП ЦНИИ технологии судостроения, Санкт-Петербург, 23—24 окт. 2003 г. — СПб., 2003. — Т. 1. — С. 211—217.

10. *Сморodinский, С. С.* Оптимизация решений на основе методов и моделей математического программирования : учеб. пособие / С. С. Смородинский, Н. В. Батин. — Минск : БГУИР, 2003. — 136 с.

11. Об установлении расчетной нормы рабочего времени на 2019 год [Электронный ресурс] : постановление М-ва труда и соц. защиты Респ. Беларусь от 22 окт. 2018 г. № 77. — Режим доступа: https://kodeksy-by.com/norm_akt/source-МинтрудаРБ/type-Постановление/77-22.10.2018.htm . — Дата доступа: 20.01.2020.

12. Номенклатура наименований и кодов видов оплаты труда и удержаний из заработной платы работников государственно объединения «Белорусская железная дорога», обособленных структурных подразделений и организаций, входящих в ее состав, утвержденная приказом Начальника Белорусской железной дороги от 20.12.2018 № 351Н [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.rw.by/corporate/normative_documents/ . — Дата доступа: 20.01.2021.

Поступила в редакцию 25.05.2021.

Репозиторий БарГУ