

УДК 658.5.012.14

В. И. Жигар; В. А. Довгяло, доктор технических наук, профессор;
В. Л. Моисеенко, кандидат технических наук, доцент

Учреждение 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 звеносборочной линии КБ03 и поиска путей повышения производительности ее работы с помощью системы имитационного моделирования “Tecnomatix Plant Simulation” была построена имитационная модель звеносборочной линии, выполнена валидация модели. На основании анализа результатов проведенных на модели экспериментов были сформированы решения по управлению производственным процессом работы звеносборочной линии КБ03 для получения максимального увеличения ее производительности. Выполнен расчет экономической эффективности внедрения на производстве предлагаемых изменений и корректировок технологического процесса работы звеносборочной линии.

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

Рис. 4. Табл. 7. Библиогр.: 12 назв.

V. I. Zhihar; V. A. Dovgualo, Doctor of Technical Sciences, Professor;
V. L. Moiseenko, PhD in Technical Sciences, Associate Professor

Belarusian 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 звеносборочная поточная линия КБ03 (рисунок 1), сконструированная на базе звеносборочной линии 1ПЗЛ-100.



Рисунок 1. — Звеносборочная линия KB03

Линия KB03 предназначена для сборки звеньев РШР колеи 1 520 мм на рельсах типов Р65/Р50 со скреплением 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 KB03 [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 KB03 (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.

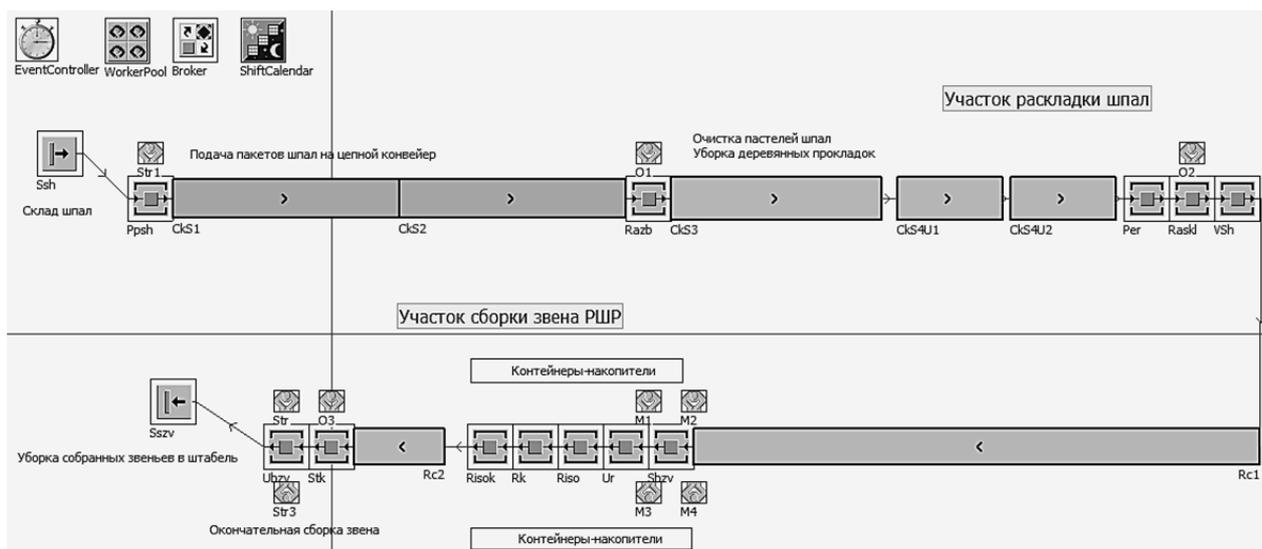


Рисунок 2. — Общий вид имитационной модели звеносборочной линии КБ03

Результаты исследования и их обсуждение. После построения имитационной модели выполнена ее валидация [9]. В соответствии с [10] построенная имитационная модель соответствует всем необходимым требованиям: непротиворечивость, чувствительность, точность, реалистичность, работоспособность. Погрешность результатов имитации относительно фактических данных составляет 1,75 %. На имитационной модели проведены эксперименты по определению производительности работы звеносборочной линии при фактических условиях, использовании на ней работников четвертого квалификационного разряда, использовании на ней работников пятого квалификационного разряда, использовании двух дополнительных работников, повышении надежности технических средств до 95 %, оптимальных условиях (на линии используются работники (монтеры пути, стропальщики) пятого квалификационного разряда, к работам привлечены два дополнительных работника (монтеры пути третьего квалификационного разряда), надежность технических средств составляет 95 %). Значения производительности звеносборочной линии согласно проведенным экспериментам представлены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1. — Производительность звеносборочной линии

Наименование эксперимента	Производительность		Отношение к производительности при фактических условиях	
	звеньев	км	км	%
При фактических условиях	3 069	76,725	—	—
При использовании работников четвертого квалификационного разряда	3 121	78,025	+1,300	+1,690
При использовании работников пятого квалификационного разряда	3 160	79,00	+2,275	+2,970
При надежности технических средств 95 %	3 069	76,725	—	—
При использовании двух дополнительных работников (монтеров пути из числа работников предприятия)	3 169	79,225	+2,500	+3,260
При оптимальных условиях	3 242	81,050	+4,325	+5,640

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

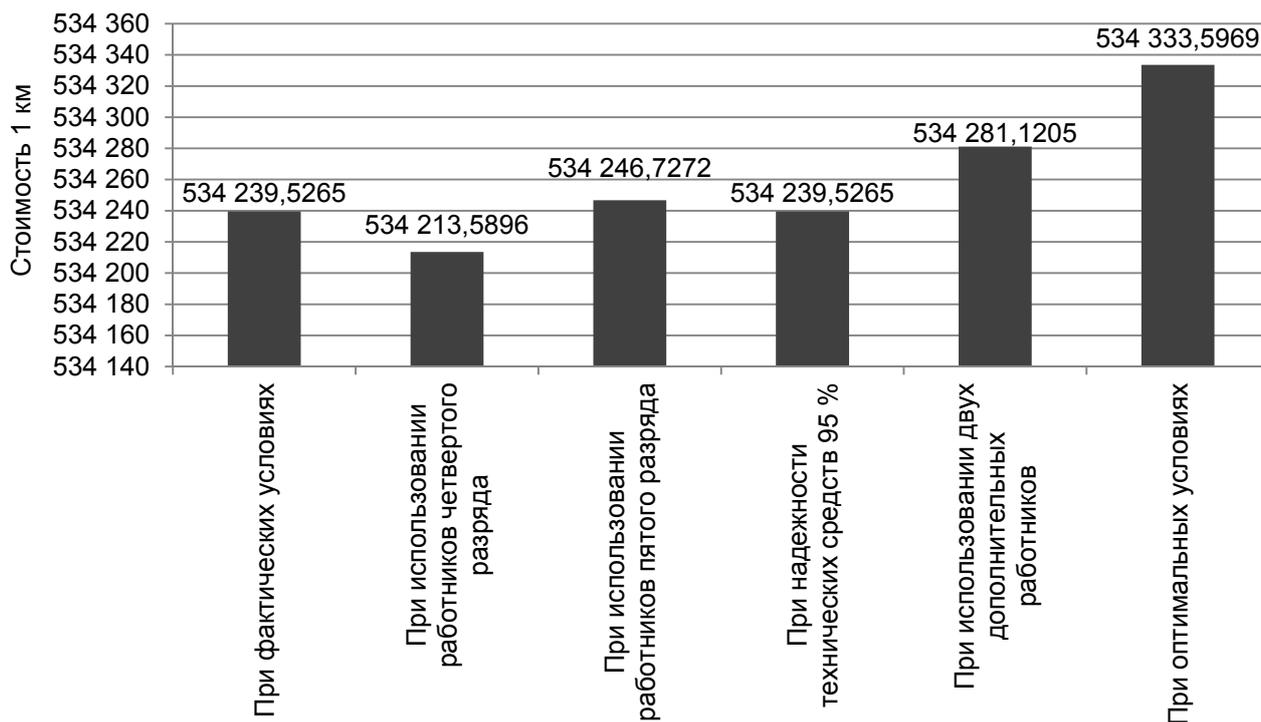


Рисунок 3. — Общие затраты предприятия

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).

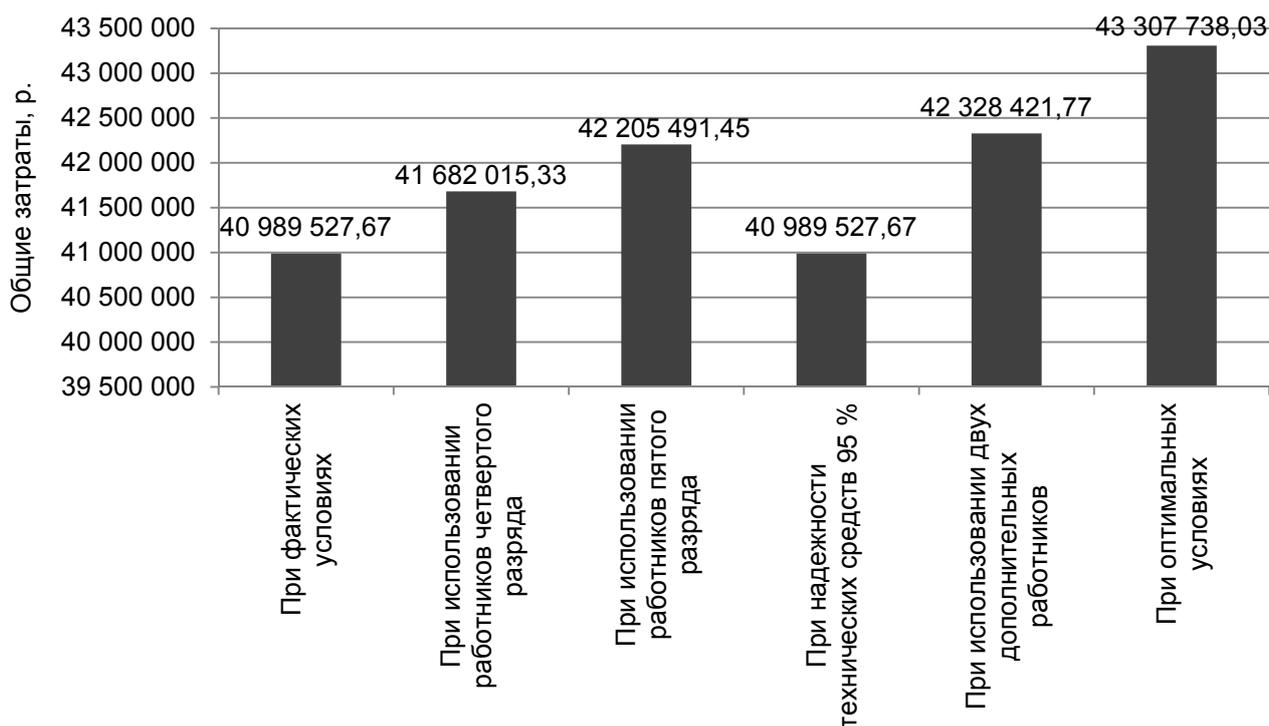


Рисунок 4. — Стоимость одного километра РШР

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 “Tescnomatix 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.