

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

ECONOMIC EFFICIENCY
OF METALLURGICAL PRODUCTION



УДК 621.771:658.53

DOI 10.17073/0368-0797-2025-1-84-89



Краткое сообщение
Short report

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВОЛОЧИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ МНОГОСТАНОВОМ ОБСЛУЖИВАНИИ

А. Р. Фастыковский¹, А. И. Мусатова¹, Н. В. Мартюшев²

¹ Сибирский государственный индустриальный университет (Россия, 654007, Кемеровская обл. – Кузбасс, Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

² Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Россия, 634050, Томск, пр. Ленина, 30)

✉ omd@sibsiu.ru

Аннотация. Большая потребность в продукции волочильного производства вызывает необходимость увеличения производительности действующего оборудования. Это можно решить двумя способами: созданием новых конструкций волочильного оборудования и поиском скрытых организационных резервов. Повышение производительности за счет организационных мероприятий требует меньше времени и материальных затрат на реализацию. Авторы рассматривают возможность и перспективы многостанового обслуживания. При многостановом обслуживании разрабатывают нормативные модели функционирования волочильного оборудования. На примере действующего производства показаны перспективы применения разработанных моделей. Проведенный анализ работы волочильного оборудования позволяет обосновать режимы обработки при многостановом обслуживании и за счет этого увеличить производительность в 1,35 раза, снизить себестоимость готовой продукции на 2 %.

Ключевые слова: волочильное оборудование, нормативные модели, многостановое обслуживание

Для цитирования: Фастыковский А.Р., Мусатова А.И., Мартюшев Н.В. Разработка моделей функционирования волочильного оборудования при многостановом обслуживании. *Известия вузов. Черная металлургия.* 2025;68(1):84–89. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2025-1-84-89>

DEVELOPMENT OF MODELS FOR FUNCTIONING OF DRAWING EQUIPMENT FOR MULTI-MILL SERVICING

A. R. Fastyskovskii¹, A. I. Musatova¹, N. V. Martyshev²

¹ Siberian State Industrial University (42 Kirova Str., Novokuznetsk, Kemerovo Region – Kuzbass 654007, Russian Federation)

² National Research Tomsk Polytechnic University (30 Lenina Ave., Tomsk 634050, Russian Federation)

✉ omd@sibsiu.ru

Abstract. The great demand for products of the drawing industry causes the need to increase the productivity of existing equipment. There are two ways to solve this issue: creation of new designs of drawing equipment and search for hidden organizational reserves. Increasing productivity through organizational measures requires less time and material costs for implementation. The paper considers the possibility and prospects of multi-mill servicing. Normative models of drawing equipment operation for multi-mill servicing were developed. The prospects of using the developed models are shown on the example of the existing production. Analysis of the drawing equipment operation made it possible to justify the processing modes for multi-mill servicing and thereby increase productivity by 1.35 times and reduce the cost of finished products by 2 %.

Keywords: drawing equipment, standard models, multi-mill servicing

For citation: Fastyskovskii A.R., Musatova A.I., Martyshev N.V. Development of models for functioning of drawing equipment for multi-mill servicing. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy.* 2025;68(1):84–89. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2025-1-84-89>

ВВЕДЕНИЕ

Анализ сформированной нормативной базы показателей системы волочильный стан – волочильщик, включающей длительность операций (машинных, машинно-ручных и ручных), ситуационные такты работы станом, коэффициенты их использования, текущие простои, производительность системы, дал возможность оптимизировать количество волочильных станом, которое реально может обслуживать один рабочий-оператор [1 – 3].

Для этого разработана нормативная модель функционирования человеко-технической системы в режиме многостанового обслуживания [4 – 6]. Предварительно волочильные станомы, работающие на участках грубого, среднего и тонкого волочения (более 50 шт.), были сгруппированы по степени кратности (от одного до семикратного) процесса волочения, по диаметрам протягиваемой проволоки и чистового барабана (750, 650, 550 или 350 мм). На станомх однократного волочения процесс осуществляется только через одну волоку, проволока изменяет свое сечение один раз. На станомх многократного волочения магазинного типа установлены блочные машины, состоящие из ряда блоков с индивидуальным приводом каждого барабана, в которых заготовочная проволока проходит последовательно через несколько волок. Каждый стан оборудован размоточным и намоточным устройствами, напольными краном, сварочным и острильным станками.

Станомы грубого и среднего (одно- и многократного) волочения предназначены для производства проволоки диаметром от 8 до 2 мм в малых мотках (М) массой 100 – 250 кг, большегрузных мотках (БМ) массой 1,0 и 1,5 т или катушках (К) массой 1,0 т в зависимости от типа станома. Исходной заготовочной проволокой для них служат бунты (Б) катанки диаметром от 10 до 5 мм. Станомы тонкого (семикратного) волочения 7/350 предназначены для производства проволоки диаметром от 2,0 до 0,8 мм в мотках (60 кг) или катушках (1 т) в зависимости от дальнейшего их назначения.

Каждую группу волочильных станомов классифицировали с учетом следующих признаков: тип размоточного устройства (горизонтальный или вертикальный); тип намоточного устройства (для формирования проволоки на катушку или большегрузный моток); для снятия малых мотков (консольно-поворотный кран или установка непрерывного съема); форма заготовочной проволоки (бунт или катушка); вид и масса готовых изделий (малые и большегрузные мотки, катушки); диаметр и ГОСТ готовой проволоки; взаиморасположение волочильных станомов, расстояние между ними и пультами управления.

Для выявления реальной возможности обслуживания одним оператором двух и более станомов проводили комплексные исследования работы системы волочильный стан – волочильщик методом фотохронометражных наблюдений в течение 30 рабочих смен.

ПОСТРОЕНИЕ НОРМАТИВНОЙ МОДЕЛИ

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ

Нормативная модель определения возможности обслуживания оператором нескольких станомов включает следующие показатели [7 – 9].

1. Время занятости рабочего (оператора) при обслуживании одного волочильного станома:

$$\tau_{3N}^H(i) = \sum_{n=1}^{n^*} \tau_{q,n}^H(i) + \sum_{z=1}^{z^*} \tau_{np,z}^H(i) + \tau_{aN}^H(i); \quad (1)$$

$$\tau_{q,n}^H(i) = \frac{\tau_{q,n}^{MB}(i)}{k_{q,n}^H(i)}; \quad \tau_{np,z}^H(i) = \frac{\tau_{np,z}^{MB}(i)}{k_{np,z}^H(i)}; \quad (2)$$

$$\tau_{aN}^H(i) = t_{mN}^H(i) k_a; \quad t_{mN}^H(i) = \frac{t_{mN}^{MB}(i)}{k_o^H(i)}, \quad (3)$$

где $\tau_{q,n}^H(i)$ и $\tau_{q,n}^{MB}(i)$ – нормативное и минимально возможное время выполнения рабочим n -ой циклической операции (элементов) при изготовлении единицы i -ой продукции, неперекрываемое машинным временем волочения, ч; $\tau_{np,z}^H(i)$ и $\tau_{np,z}^{MB}(i)$ – нормативное и минимально возможное время выполнения рабочим n -ой циклической операции (элементов) при изготовлении единицы i -ой продукции, перекрываемое машинным временем волочения, ч; $k_{q,n}^H(i)$ и $k_{np,z}^H(i)$ – нормативные коэффициенты нестабильности выполнения ручных операций и их элементов с учетом неперекрываемого и перекрываемого времени машинного волочения; $\tau_{aN}^H(i)$ – нормативное время активного (визуального) наблюдения оператором за технологическим процессом волочения, ч; $t_{mN}^H(i)$ и $t_{mN}^{MB}(i)$ – нормативное и технически возможное машинное время для i -го диаметра проволоки N -ой скорости волочения, ч; k_a – регламентированный коэффициент активного наблюдения ($k_a = 0,1 \div 0,2$); $k_o^H(i)$ – нормативный коэффициент использования оборудования (станома).

2. Планируемое машинно-свободное время незанятости оператора:

$$t_{mcN}^H(i) = t_{mN}^H(i) - \left[\sum_{z=1}^{z^*} \tau_{np,z}^H(i) + \tau_a^H(i) \right]. \quad (4)$$

3. Планируемое время занятости оператора при обслуживании S однотипных волочильных станомов:

$$\tau_{3N}^H(S, i) = \tau_{3N}^H(i) + \tau_{px}^H(S, i); \quad (5)$$

$$\tau_{px}^H(S, i) = \frac{\tau_{px}^{MB}(S, i)}{k_{hc}^H(S, i)}, \quad (6)$$

где $\tau_{px}^H(S, i)$ и $\tau_{px}^{MB}(S, i)$ – нормативная и минимально возможная продолжительность перехода оператора от одного станома к другому, ч; $k_{hc}^H(S, i)$ – нормативный коэф-

фициент, учитывающий нестабильность маршрутного пути оператора.

4. Нормативную продолжительность перехода оператора от одного стана к другому, которое устанавливали с использованием имитационного моделирования действий операторов при обслуживании S станом с учетом рациональных маршрутов и количества переходов в зависимости от массы и вида продукции.

5. Планируемое время незанятости оператора в процессе волочения при обслуживании S станом

$$t_{mcN}^H(S, i) = t_{mcN}^H(i) - \tau_{hx}^H(S, i). \quad (7)$$

6. Планируемое оперативное время оператора

$$t_{оп,N}^H(S, i) = t_{mcN}^H(i) + \tau_{3N}^H(S, i). \quad (8)$$

7. Коэффициент занятости оператора

$$k_{3,N}(S, i) = \frac{\tau_{3N}^H(S, i)}{t_{оп,N}^H(S, i)} \leq k_3^*(i); \quad k_3^*(i) \in (0, 4 \div 0, 7). \quad (9)$$

8. Планируемое количество волочильных станом для обслуживания одним оператором

$$S_N(i) = \left[\frac{t_{mcN}^H(S, i)}{\tau_{3N}^H(S, i)} + 1 \right] k^H, \quad (10)$$

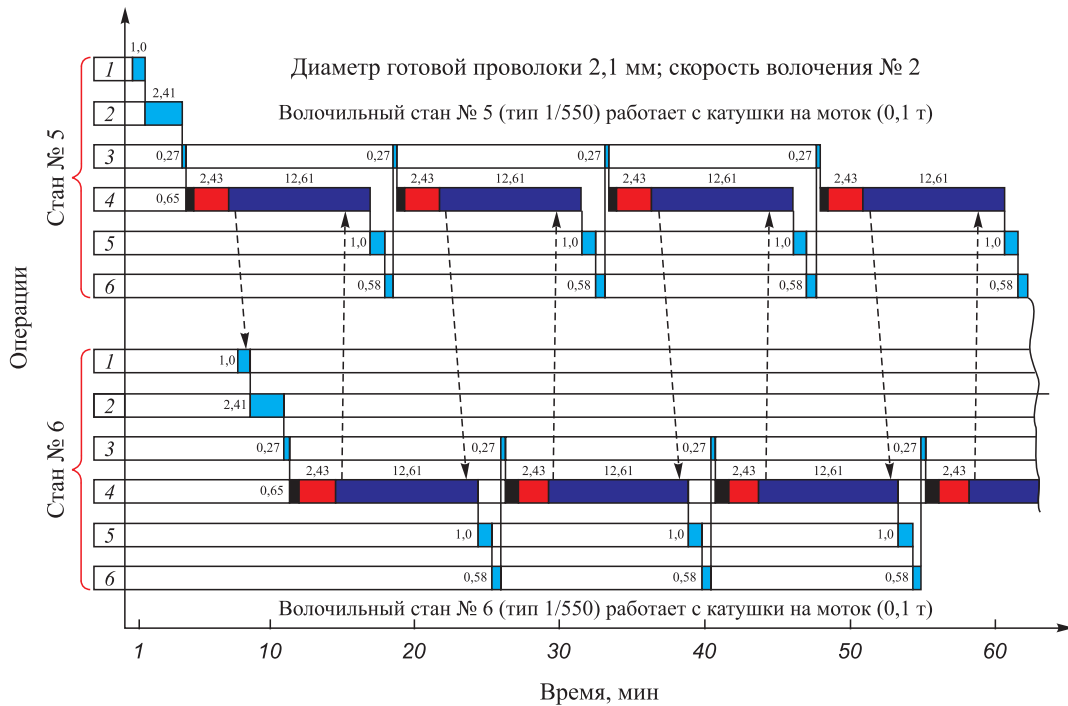
где k^H – общий коэффициент, учитывающий простои при S -становом обслуживании.

9. Норму выработки оператора при многостановом обслуживании

$$H_{ч-м,N}(S, i) = P_{ч-м,N}^H(i) \times S_N^H(i) \Phi B_{ч-м,см}^H(S, i), \text{ т/смена}; \quad (11)$$

$$\Phi B_{ч-м}^H(S, i) = KB_{см} - \left[\sum_{m=1}^M t_{рг} + t_T^H(i) + t_{ТХ}^H(i) + t_{свп}^H(i) + t_{орг}^H(i) \right], \quad (12)$$

где $P_{ч-м,N}^H(i)$ – нормативная производительность однотипной человеко-технической системы, т/ч; $\Phi B_{ч-м,см}^H(S, i)$ – нормативный фонд времени работы человеко-технической системы, учитывающий регламентированные перерывы $\sum_{m=1}^M t_{рг}$ оператора, нормативные простои при совпадении ручных операций $t_{свп}^H$ в период обслуживания S станом, нормативные про-



Графическая модель производственного процесса при обслуживании оператором двух станом (фрагмент):

1 – установка катушки; 2 – сварка концов проволоки; 3 – заправка проволоки на барабан; 4 – волочение проволоки;

5 – сьем мотка готовой проволоки; 6 – переход волочильщика к заправке;

■ – время, не перекрываемое машинным; ■ – время, перекрываемое машинным; ■ – машинно-свободное время волочения;

■ – время активного наблюдения; → – переход волочильщика от стана к стану

Graphical model of the production process during servicing by the operator of two mills (fragment):

1 – installation of coil; 2 – welding of wire ends; 3 – filling wire onto drum; 4 – wire drawing;

5 – removal of the finished wire coil; 6 – transfer of wire drawer to refueling;

■ – time that is not covered by machine time; ■ – time overlapped by machine time; ■ – machine-free dragging time;

■ – time of active observation; → – transition of wire drawer from mill to mill

Результаты моделирования человеко-технической системы в режиме многостанового обслуживания

Results of modeling the human-technical system in a multi-mill servicing mode

Диаметр прово- локи, мм	Нормативное время, мин			Опера- тивное время, мин	Коэффициенты		Количество станов на оператора, шт.		$P_{ч-м}^H$, т/ч	Норма фонда времени, ч/смена	Норма выработки, т/смена
	τ_a^H	τ_3^H	τ_{mc}^H		k_3	k^H	расчет	принят			
Станы 1/350 работают с катушки на моток (0,06 т)											
1,4	2,72	13,62	48,83	62,45	0,22	0,60	3,0	2	0,039	6,08	0,474
1,4	2,08	12,98	36,78	49,77	0,26	0,65	2,5	2	0,049	6,08	0,596
1,4	1,35	12,25	22,88	35,13	0,35	0,60	1,7	1	0,070	—	—
Станы 2/550 работают с бунта на катушку (1,0 т)											
5,0	2,74	9,44	24,20	3,64	0,28	0,88	3,1	2	1,592	6,50	20,70
5,0	1,99	8,69	17,48	26,17	0,33	0,88	2,6	2	2,042	6,50	26,55
5,0	1,48	8,18	12,83	21,01	0,39	0,87	2,4	2	2,538	6,50	33,02
Станы 3/350 работают с бунта на моток (1,5 т)											
3,5	7,84	21,10	68,41	89,51	0,24	0,77	3,3	2	0,875	6,67	11,67
3,5	5,63	18,89	48,53	67,42	0,28	0,77	2,7	2	1,150	6,67	15,34
3,5	4,04	17,30	34,18	51,48	0,34	0,76	2,3	2	1,515	6,67	20,27
Станы 7/350 работают с катушки на катушку (1,0 т)											
1,6	13,30	16,70	119,21	135,91	0,12	0,82	6,7	3	0,377	7,0	7,92
1,6	9,61	13,01	86,07	99,08	0,13	0,82	6,3	3	0,518	7,0	10,88
1,6	7,72	11,12	68,97	80,09	0,14	0,82	5,9	3	0,641	7,0	13,46

стои по техническим t_t^H , технологическим $t_{тх}^H$ и организационным $t_{орг}^H$ причинам, ч/смена; S_N^H – нормативное (принятое) количество станков для N -ой скорости волочения.

Нормативы продолжительности простоев (остановок), связанные с совпадением операций на соседних станках, оценивали с учетом эмпирически выявленной закономерности (чем больше продолжительность работы оборудования и меньше ручных операций, тем менее вероятны остановки стана из-за совпадения ручных операций).

На рисунке схематично приведена графическая модель производственного процесса при обслуживании оператора двух волочильных станков. В таблице показаны фрагментарно результаты моделирования системы при многостановом обслуживании оператора.

Представленные руководству метизного производства обоснованные расчеты количества волочильных станков, которые может одновременно обслуживать один оператор, показали реальную возможность и преимущества для некоторых типов станков, где проводили расчеты для каждого диаметра готовой проволоки, массы и формы единицы продукции при второй, третьей и четвертой скоростях волочения.

Результаты моделирования человеко-технической системы показали, что станы (попарно) могут работать в комплексе два волочильных стана – один оператор:

1. Станы 6/550, 5/550, 4/550, 3/550 – с бунта на катушку (или на моток) массой 1 т;

2. Станы 1/550 – с катушки на моток (0,1 т) при диаметрах готовой проволоки 2,3 – 1,6 мм; станы 1/350 – с катушки на моток (0,06 т) при второй и третьей скоростях волочения.

Методика перехода от расчетного количества одновременно обслуживаемых станков к нормативному количеству основана на анализе технических, организационных, эргономических и экономических факторов [10 – 12].

Приведена методика определения норм времени и выработки операторов-волочильщиков в условиях многостанового обслуживания с учетом скорости волочения, диаметра и вида готовой проволоки, нормативов часовой производительности станков каждого типа.

На основании разработанных моделей предложены мероприятия по внедрению двухстанового обслуживания в сталепроволочном цехе метизного производства, что позволило улучшить технико-экономические показатели (сократилась численность персонала, увеличилась производительность труда в 1,35 раза, уменьшилась себестоимость продукции на 2 %).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Тураев Т.Т., Батиров Я.А., Тожиев Б.А. Модернизация процесса волочения проволочного изделия. *Universum*:

- Технические науки: электрон. научн. журн.* 2019;3(60). URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/7049> (дата обращения: 12.12.2024).
2. Baek H.M., Jin Y.G., Hwang S.K., Im Y.-T., Son I.-H., Lee D.-L. Numerical study on the evolution of surface defects in wire drawing. *Journal of Materials Processing Technology*. 2012;212(4):776–785. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2011.10.028>
 3. Харитонов В.А., Усанов М.Ю. Совершенствование методики расчета маршрутов волочения для высокоуглеродистых сталей. *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации*. 2017;(8):92–95.
Kharitonov V.A., Usanov M.Yu. Improving the methodology for calculating drawing routes for high-carbon steels. *Ferrous Metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economic Information*. 2017;(8):92–95. (In Russ.).
 4. Fastyskovskii A.R., Chinokalo E.V. Long coiled reinforcement produced by drawing. *Steel in Translation*. 2019;49(7): 481–483. <https://doi.org/10.3103/S0967091219070052>
 5. Фастыковский А.Р., Мартюшев Н.В., Мусатова А.И., Савченко И.А., Карлина А.И. Обоснование нормативных моделей производительности листопркатного цеха. Сообщение 1. *Черные металлы*. 2024;(1):9–16. <https://doi.org/10.17580/chm.2024.01.02>
Fastyskovskii A.R., Martyushev N.V., Musatova A.I., Savchenko I.A., Karlina A.I. Substantiation of normative productivity models of the sheet-rolling shop. Message 1. *Chernye metally*. 2024;(1):9–16. (In Russ.). <https://doi.org/10.17580/chm.2024.01.02>
 6. Weingartshofer T., Bischof B., Kugi A. Optimization-based path planning framework for industrial manufacturing processes with complex continuous paths. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. 2023;82:102516. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2022.102516>
 7. Логинов Ю.Н., Грехов С.К. Формирование остаточных напряжений при волочении низкоуглеродистой проволоки. *Сталь*. 2021;(5):25–28.
Loginov Yu.N., Grekhov S.K. Generation of residual stresses in drawing low-carbon steel wire. *Stal'*. 2021;(5):25–28. (In Russ.)
 8. Кузнецов С.А., Скородумов И.С., Скородумова Е.А. Динамическое моделирование грубо-среднего прямооточного волочения проволоки на волочильном стане с автомобильной трансмиссией в качестве привода. *Глобус*. 2020;4(50):31–40. <https://doi.org/10.31618/2658-5197-2020-50-4-6>
Kuznetsov S.A., Skorodumov I.S., Skorodumova E.A. Dynamic modeling of coarse-medium direct-flow wire drawing on a drawing mill with an automobile transmission as a drive. *Globus*. 2020;4(50):31–40. (In Russ.). <https://doi.org/10.31618/2658-5197-2020-50-4-6>
 9. Volokitina I., Volokitin A., Panin E., Fedorova T., Lawrinuk D., Kolesnikov A., Yerzhanov A., Gelmanova Z., Liseitsev Y. Improvement of strength and performance properties of copper wire during severe plastic deformation and drawing process. *Case Studies in Construction Materials*. 2023;19:e02609. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02609>
 10. Fung K.H., Khairuddin M.H.B., Shamsudin M.F., Ali W.F.F.W., Salleh M.S. Numerical simulation and prediction of stress distribution in multi-pass drawing process of steel rod. *AIP Conference Proceedings*. 2024;2925(1):020054. <https://doi.org/10.1063/5.0185776>
 11. Емельянов А.А., Шильникова О.В., Емельянова Н.З. Оптимизация производственных программ на основе результатов имитационного моделирования. *Прикладная информатика*. 2015;10(3(57)):109–121.
Emel'yanov A.A., Shil'nikova O.V., Emel'yanova N.Z. Optimization of production programs based on simulation results. *Prikladnaya informatika*. 2015;10(3(57)):109–121. (In Russ.).
 12. Головизнин С.М., Петров И.М., Иванцов А.Б. Оптимизация процесса мокрого волочения по критерию запаса прочности. *Известия вузов. Черная металлургия*. 2022;65(9):609–614. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2022-9-609-614>
Goloviznin S.M., Petrov I.M., Ivantsov A.B. Optimization of wet drawing according to the ratio of breaking stress to draw stress. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2022;65(9):609–614. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2022-9-609-614>

Сведения об авторах

Information about the Authors

Андрей Ростиславович Фастыковский, д.т.н., доцент, профессор кафедры «Обработка металлов давлением и металловедение. ЕВРАЗ ЗСМК», Сибирский государственный индустриальный университет

ORCID: 0000-0001-9259-9038

E-mail: omd@sibsiu.ru

Александра Ильинична Мусатова, старший преподаватель кафедры «Менеджмент и отраслевая экономика», Сибирский государственный индустриальный университет

ORCID: 0000-0002-0171-5177

E-mail: musatova-ai@yandex.ru

Никита Владимирович Мартюшев, к.т.н., доцент отделения информационных технологий, Национальный исследовательский Томский политехнический университет

ORCID: 0000-0003-0620-9561

E-mail: martjushev@tpu.ru

Andrei R. Fastyskovskii, Dr. Sci. (Eng.), Assist. Prof., Prof. of the Chair of Metal Forming and Metal Science. OJSC "EVRAZ ZSMK", Siberian State Industrial University

ORCID: 0000-0001-9259-9038

E-mail: omd@sibsiu.ru

Aleksandra I. Musatova, Senior Lecturer of the Chair "Management and Branch Economy", Siberian State Industrial University

ORCID: 0000-0002-0171-5177

E-mail: musatova-ai@yandex.ru

Nikita V. Martyushev, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Prof. of Department of Information Technology, Tomsk Polytechnic University

ORCID: 0000-0003-0620-9561

E-mail: martjushev@tpu.ru

Вклад авторов

Contribution of the Authors

А. Р. Фастыковский – формирование основной концепции, научное руководство, формулирование выводов.

А. И. Мусатова – разработка нормативных моделей функционирования системы, моделирование человеко-технической системы многостанового обслуживания.

Н. В. Мартюшев – обсуждение результатов работы, корректирование текста.

A. R. Fastykovskii – conceptualization, scientific guidance, formulation of conclusions.

A. I. Musatova – development of normative models of the system functioning, modeling of the human–technical system of multi-mill servicing.

N. V. Martyushev – discussion of results, text correction.

Поступила в редакцию 24.04.2024

После доработки 15.07.2024

Принята к публикации 15.11.2024

Received 24.04.2024

Revised 15.07.2024

Accepted 15.11.2024