

УДК 624.7.001.5

СИТУАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ СИСТЕМ (НА ПРИМЕРЕ ВОЛОЧИЛЬНЫХ СТАНОВ)

Кулаков С.М., д.т.н., профессор кафедры «Автоматизация и информационные системы» (kulakov-ais@mail.ru)

Мусатова А.И., ст. преподаватель кафедры «Менеджмент и отраслевая экономика» (musatova-ai@yandex.ru)

Кадыков В.Н., к.т.н., доцент кафедры «Обработка металлов давлением и металловедение. ЕВРАЗ ЗСМК» (kadikov_vn@mail.ru)

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

Аннотация. Разработана методика формирования комплексных ситуационных моделей производительности волочильных станков как активной человеко-машинной системы. Определена структура моделей, включающая машинное время волочения и время выполнения ручных операций, коэффициенты использования оборудования и трудовых операций; теоретические, технически возможные и нормативные такты и производительности человеко-машинных систем. Приведены фрагменты табличной реализации предлагаемой комплексной нормативной модели человеко-машинной системы.

Ключевые слова: станы, рабочий, нормативы, операции, такт, простои, производительность, человеко-машинная система.

DOI: 10.17073/0368-0797-2018-6-485-489

Информационную основу планирования производства в волочильных отделениях составляют нормативы производительности станков, необходимые для формирования программы выпуска продукции и норм труда (норм времени, выработки, численности, обслуживания) [1, 2]. Многообразие производственных ситуаций, обусловленное влиянием многочисленных изменяющихся факторов, требует разработки ситуационных моделей производительности человеко-машинной системы [3, 4].

Волочильный стан метизного производства, предназначенный для холодной деформации проволоки, представляет собой человеко-машинную (активную) систему, состоящую из механизмов, приспособлений и оборудования, связанных единым производственным процессом, в котором непосредственно участвуют рабочие [5]. Эффективное функционирование такой системы зависит от степени соответствия и уровня согласованности действий всех ее элементов (технических, технологических, трудовых) [6 – 8].

Предлагаемая комплексная ситуационная модель производительности волочильных станков как человеко-машинной системы включает следующие составляющие:

- операционные схемы производственных процессов волочильного отделения, их классификация и декомпозиция на операции и элементы;
- классификация, структура и нормы времени ручных циклических операций с декомпозицией их на

элементы и микроэлементы (приемы, действия, движения);

- машинное время волочения проволоки для разных скоростных режимов;
- классификация и нормативы длительности простоев (скрытых и текущих);
- нормативные коэффициенты использования оборудования (волочильных станков) и нестабильности выполнения ручных операций;
- технически возможные и нормативные модели тактов работы каждого типа волочильных станков с учетом сортамента и ГОСТа проволоки, скорости волочения и вида единицы готовой продукции;
- нормативный фонд времени работы станков (смена, сутки, месяц, год);
- теоретическая, технически возможная и нормативная модели часовой производительности волочильного стана каждого типа с учетом сортамента и ГОСТа проволоки, скорости волочения, вида единицы готовой продукции; технически возможная и нормативная модели сменной производительности волочильных станков с учетом вышеперечисленных факторов;
- средневзвешенная производительность волочильного отделения, учитывающая количество функционирующих однотипных и разнотипных станков, которая зависит от поступивших или прогнозируемых заказов на определенные диаметры проволоки и виды продукции.

Укрупненный алгоритм ситуационного формирования нормативной модели производительности системы волочильный стан – волочильщик представлен на рисунке. Ниже приведен пояснительный текст к алгоритму.

Теоретическая модель производительности собственно волочильного стана отражает только его машинные возможности при условии непрерывно работающего оборудования (см. рисунок, блоки 5, 6 алгоритма):

$$P_{MN}^T(i) = \frac{G(i)}{t_{MN}(i)}, \text{ т/ч}; \quad G(i) = \frac{G^*(i)}{k_p(i)}, \quad (1)$$

где $G(i)$ – масса единицы готовой продукции для i -го диаметра проволоки, т; $t_{MN}(i)$ – расчетная длительность основной технологической (машинной) операции волочения со скоростью N , ч; $G^*(i)$ – масса единицы заготовочной проволоки (бунт катанки), т; $k_p(i)$ – расходный коэффициент заготовочной проволоки, т/т.

Машинное время $t_{MN}(i)$ волочения зависит от скорости (V) прохождения проволоки через волоку, номера скорости (N), диаметра проволоки и вида готового изделия (катушка, моток):

$$t_{MN}(i) = \frac{L(i)}{V_N(i)}; \quad L(i) = \frac{G(i)}{q(i)}; \quad (2)$$

здесь $L(i)$ – длина проволоки i -го диаметра; $q(i)$ – масса одного погонного метра проволоки, кг/м.

Технически возможная модель производительности человеко-машинной системы волочильный стан – волочильщик определяется по следующим формулам (блоки 7, 8, 12 алгоритма):

$$P_{ч-м, N}^{TB}(i) = \frac{G(i)}{T_{ч-м, N}^{TB}(i)}, \text{ т/ч}; \quad (3)$$

$$T_{ч-м, N}^{TB}(i) = t_{MN}(i) + \sum_{n=1}^n \tau_{ч}^{MB}(i);$$

$$\sum_{n=1}^n \tau_{ч}^{MB}(i) = \tau_{ч,1}^{MB}(i) + \dots + \tau_{ч,n}^{MB}(i); \quad (4)$$

$$\tau_{ч,1}^{MB}(i) = \sum_{w=1}^w [\tau_{ч,1}^{MB}(i) + \dots + \tau_{ч,n}^{MB}(i)],$$

где $T_{ч-м, N}^{TB}(i)$ – модель технически возможного такта работы человеко-машинной системы для i -го диаметра проволоки, N -й скорости волочения, ч; $\tau_{ч}^{MB}(i)$ – минимально возможное (необходимое) время выполнения циклических операций рабочим-волочильщиком при изготовлении единицы продукции, неперекрываемое машинным временем $t_{MN}(i)$, ч; $\tau_{ч,n}^{MB}(i)$ – минимально возможное время выполнения w -ых микроэлементов n -го элемента ручной операции; n^* и w^* – количество элементов и микроэлементов операции, шт.

Под тактом работы системы понимается отрезок времени между окончаниями выдачи данной единицы

готовой продукции (мотка или катушки) до выдачи следующей единицы. В теоретическом аспекте такты подробно рассмотрены в работе [9].

Нормативная модель производительности человеко-машинной системы определяется с учетом нормативного такта $T_{ч-м, N}^H(i)$ ее работы (блоки 9 – 12 алгоритма):

$$P_{ч-м, N}^H(i) = \frac{G(i)}{T_{ч-м, N}^H(i)}, \text{ т/ч}; \quad T_{ч-м, N}^H(i) = t_{MN}^H(i) + \sum_{n=1}^n \tau_{ч}^H(i), \quad (5)$$

$$t_{MN}^H(i) = \frac{t_{MN}(i)}{k_o^H(i)}; \quad \sum_{n=1}^n \tau_{ч}^H(i) = \frac{\tau_{ч,1}^{MB}(i)}{k_{ч,1}^H(i)} + \dots + \frac{\tau_{ч,n}^{MB}(i)}{k_{ч,n}^H(i)}, \quad (6)$$

где $k_o^H(i)$ и $k_{ч}^H(i)$ – нормативные коэффициенты использования оборудования (собственно волочильного стана) и нестабильности выполнения рабочим ручных операций соответственно [3].

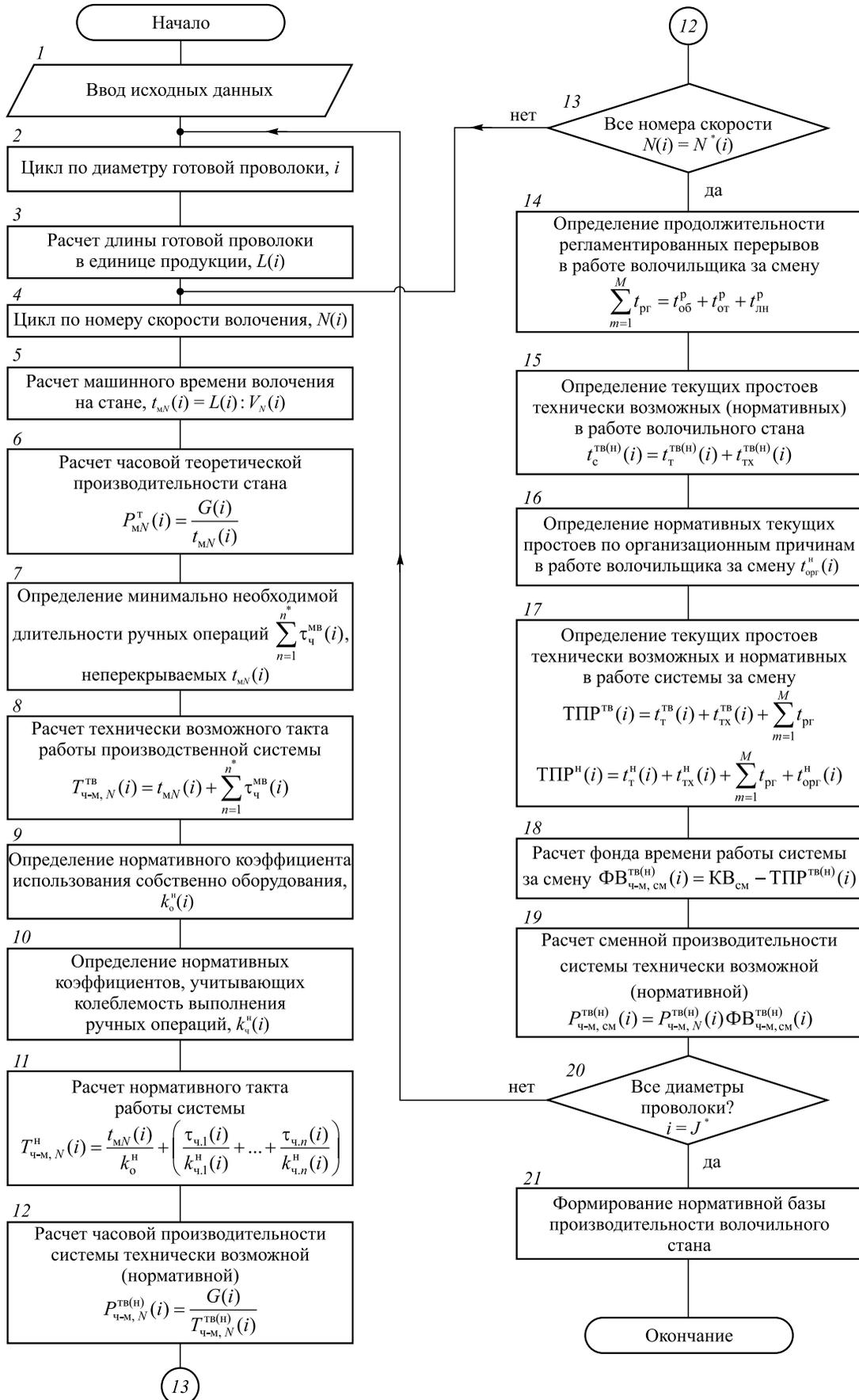
Особую сложность при построении нормативной модели производительности человеко-машинной системы составляет решение задач определения норм времени на выполнение трудовых операций и нормирования простоев для установления нормативных коэффициентов использования человеко-машинной системы, а также для формирования нормативного фонда времени на смену, сутки, месяц. Для решения этих задач были проведены многочисленные комплексные исследования производственных процессов в волочильных отделениях сталепроволочных цехов ряда предприятий.

В связи с тем, что каждая единица готовой продукции волочильного стана производится с участием оператора (рабочего-волочильщика), обоснованы последовательность, рациональный состав элементов и длительность ручных операций.

Анализ наблюдений показал, что количество ручных операций, их элементов и микроэлементов значительно колеблется в зависимости от типа стана, вида заготовочной проволоки на размоточном устройстве (бунт или катушка), от вида и массы готовой проволоки на намоточном устройстве (моток малый или большой, катушка). Так, например, для волочильных станов типа 3/550, 4/550, 6/550, которые производят готовую проволоку с бунта на большегрузный моток массой 1 т, трудовые процессы были сгруппированы на пять операций, при массе 1,5 т – на шесть операций (включая промежуточную обвязку мотка).

Определены нормативные значения текущих простоев ТПР (блоки 14 – 17 алгоритма) с учетом регламентированных перерывов в течение смены рабочих на обед ($t_{об}^p$), отдых ($t_{от}^p$), личные надобности ($t_{лн}^p$), а также по организационным причинам ($t_{орг}^H$). Кроме этого, нормировались текущие простои технического ($t_{т}$) и технологического ($t_{тх}$) характера с целью обоснования сменной производительности человеко-машинной системы.

Обоснование нормативных значений длительности ручных операций, нормативных коэффициентов исполь-



13

Алгоритм формирования нормативной производительности системы

Development algorithm of standard performance of the system

Комплексная модель производительности человеко-машинной системы

Multifunctional model of man-machine system performance

<i>N</i>	t_M^H , мин	k_0^H	k_4^H	$T_{ч-м}^{ТВ}$, мин	$T_{ч-м}^H$, мин	P_M^T , т/ч	$P_{ч-м}^{ТВ}$, т/ч	$P_{ч-м}^H$, т/ч	$\Phi B_{ч-м}^H$, см	$P_{ч-м}^H$, см, Т
Стан 2/550 работает с бунта на катушку (1 т); $d = 5,0$ мм										
2	30,46	0,90	0,78	33,04	37,68	2,189	1,816	1,592	6,85	10,905
3	22,16	0,90	0,78	25,57	29,38	3,009	2,346	2,042	6,85	13,988
4	16,42	0,90	0,78	20,41	23,64	4,059	2,940	2,538	6,85	17,385
Стан 3/550 работает с бунта на моток (1,5 т); $d = 4,0$ мм										
2	68,91	0,88	0,70	70,72	83,22	1,484	1,273	1,081	6,65	7,189
3	49,50	0,88	0,70	53,64	63,81	2,066	1,678	1,410	6,65	9,377
4	35,50	0,88	0,70	41,32	49,81	2,881	2,178	1,807	6,65	12,016
Стан 6/550 работает с бунта на моток (0,5 т); $d = 2,5$ мм										
2	32,17	0,87	0,73	35,57	42,55	1,072	0,840	0,705	6,67	4,702
3	23,18	0,87	0,73	27,75	33,56	1,487	1,081	0,894	6,67	5,963
4	16,68	0,87	0,73	22,09	27,06	2,067	1,358	1,109	6,67	7,397
Стан 7/350 работает с катушки на моток (0,06 т); $d = 1,1$ мм										
2	19,12	0,89	0,75	18,87	21,59	0,211	0,191	0,167	7,0	1,169
3	13,83	0,89	0,75	14,16	16,30	0,292	0,254	0,221	7,0	1,547
4	11,10	0,89	0,75	11,73	13,57	0,364	0,307	0,265	7,0	1,855

зования оборудования и нестабильности выполняемых ручных операций, а также нормативных значений текущих простоев осуществлялось комбинированием методов технического поэлементного нормирования, экспертных оценок, ретроспективной оптимизации с использованием эвристического и эргономического подходов.

В связи с этим была разработана комплексная нормативная модель производительности волочильных станов, фрагментарно представленная в таблице.

Выводы. Учитывая известные методики определения нормативной производительности оборудования, недостатки одних и достоинства других, уточнена и конкретизирована процедура нормирования часовой и сменной производительности волочильных станов, представляющих собой человеко-машинные системы, которые требуют формирования нормативной базы производительностей, посредством моделирования технологических, трудовых процессов и работы оборудования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мачулин В.М., Сидорчук В.Е., Астратов С.Н., Ким Ю.Б., Лобанова Н.Г. Контроллинг в метизном производстве РУП «БМЗ» // Литье и металлургия. 2011. № 2. С. 115 – 123.

2. Singh S.K., Singh M.K. Evaluation of productivity, quality and flexibility of an advanced manufacturing system // Journal of the institution of engineers. 2012. January – March. P. 93 – 101.

3. Geraskin M.I., Egorova V.V. The algorithm for dynamic optimization of the production cycle in bearing industry // Information Technology and Nanotechnology. 2016. P. 552 – 568.

4. Högman U., Johannesson H. Technology development and normative process models. International design conference. 2010. May. P. 17 – 20.

5. Вайсман Д.И., Герасимова З.А., Рубин Г.Ш. Расчет и анализ использования производственных мощностей метизной промышленности. – М.: Металлургия, 1985. – 48 с.

6. Голубчик Э.М., Кузнецова А.С., Рубин Г.Ш., Гун Г.С., Дья Х. Применение модели и принципов технологической адаптации показателей качества в процессах производства метизной продукции // Вестник МГТУ им. Г. И. Носова. 2016. № 1. С. 101 – 108.

7. Медиков В.Я. Производственные мощности и их использование. – М.: МГУП, 2002. – 264 с.

8. Рубин Г.Ш., Гун Г.С., Полякова М.А. Стандартизация метизной продукции: особенности, проблемы, перспективы развития // Известия ТулГУ. Технические науки. 2014. № 10-2. С. 28 – 33.

9. Kulakov S.M., Musatova A.I., Kadykov V.N., Baranov P.P. Timing Models in the Reengineering of Metallurgical Production Systems // Steel in Translation. 2015. Vol. 45. No. 5. P. 367 – 375.

Поступила 4 декабря 2017 г.

**DIGITAL PROTOTYPES OF MAN-MACHINE SYSTEM PERFORMANCE
(IN THE CASE OF DRAWING MILLS)**

S.M. Kulakov, A.I. Musatova, V.N. Kadykov

Siberian State Industrial University, Russia, Novokuznetsk

Abstract. A design method of multifunctional digital prototypes of drawing mills performance as an active man-machine system is developed. The structure of models is determined, including machine drawing

time and time of manual operations, equipment coefficients and labor operations, theoretical, feasible and normative cycles and performance of man-machine systems. Fragments of tabular implementation of the proposed integrated normative model of the man-machine system are given.

Keywords: mill, worker, standard, operation, timing period, downtime, performance, man-machine system.

DOI: 10.17073/0368-0797-2018-6-485-489

REFERENCES

1. Machulin V.M., Sidorchuk V.E., Astratov S.N., Kim Yu.B., Lobanova N.G. Controlling in the hardware production of RUE "BMZ". *Lit'e i metallurgiya*. 2011, no. 2, pp. 115–123. (In Russ.).
2. Singh S.K., Singh M.K. Evaluation of productivity, quality and flexibility of an advanced manufacturing system. *Journal of the institution of engineers*. 2012, January – March, pp. 93–101.
3. Geraskin M.I., Egorova V.V. The algorithm for dynamic optimization of the production cycle in bearing industry. *Information Technology and Nanotechnology*. 2016, pp. 552–568.
4. Högman U., Johannesson H. Technology development and normative process models. *International design conference*. 2010, May, pp. 17–20.
5. Vaisman D.I., Gerasimova Z.A., Rubin G.Sh. *Raschet i analiz ispol'zovaniya proizvodstvennykh moshchnostei metiznoi promyshlennosti* [Design and analysis of production facilities use of hardware industry]. Moscow: Metallurgiya, 1985, 48 p. (In Russ.).
6. Golubchik E.M., Kuznetsova A.S., Rubin G.Sh., Gun G.S., Dyja H. Application of the model and principles of technological adaptation of quality indicators in the processes of production of hardware products. *Vestnik MGTU im. G.I. Nosova*. 2016, no. 1, pp. 101–108. (In Russ.).
7. Medikov V.Ya. *Proizvodstvennye moshchnosti i ikh ispol'zovanie* [Production capacities and their use]. Moscow: MGUP, 2002, 264 p. (In Russ.).
8. Rubin G.Sh., Gun G.S., Polyakova M.A. Standardization of hardware products: features, problems, development prospects. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki*. 2014, no. 10-2, pp. 28–33. (In Russ.).
9. Kulakov S.M., Musatova A.I., Kadykov V.N., Baranov P.P. Timing models in the reengineering of metallurgical production systems. *Steel in Translation*. 2015, vol. 45, no. 5, pp. 367–375.

Information about the authors:

S.M. Kulakov, Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Chair of "Automation and Information Systems" (kulakov-ais@mail.ru)

A.I. Musatova, Senior lecturer of the Chair "Management and Branch Economy" (musatova-ai@yandex.ru)

V.N. Kadykov, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor of the Chair "Metal Forming and Metal Science. OJSC "EVRAZ ZSMK" (kadykov_vn@mail.ru)

Received December 4, 2017