



УДК 612.771:658.511

DOI 10.17073/0368-0797-2026-1-103-112



Оригинальная статья
Original article

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МЕЛКОСОРТНОГО ЦЕХА

А. Р. Фастыковский¹, А. И. Мусатова¹, Е. В. Иванова¹, 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. Интенсивное развитие строительного комплекса для расширения жилищного и промышленного фондов требует увеличения производства арматурных профилей мелкого сортамента с весом погонного метра 6 – 8 кг. Такие профили производятся на мелкосортных и мелкосортно-проволочных станах. Увеличение производства мелкосортных строительных профилей возможно реализовать по двум направлениям: строительство новых высокопроизводительных прокатных станков; интенсификация работы действующих станков благодаря выявлению скрытых резервов (узких мест) и с учетом этого модернизация оборудования и технологии. Второе направление менее затратно в материальном плане и времени на реализацию требуется существенно меньше. Однако для правильного принятия решения по совершенствованию действующего производства требуется обоснованный анализ сдерживающих факторов. Для решения данного вопроса авторы предлагают методику, основанную на принципах тактового подхода, и необходимые расчетные формулы, с помощью которых на примере мелкосортного цеха показывают последовательность поиска и анализа «узких мест». В работе проведен анализ организации производственных процессов на участках мелкосортного стана и подробно рассмотрены две альтернативные схемы организации материальных потоков на участке пакетировки. Приведенный в табличных формах фактический материал характеризует работу участков мелкосортного цеха по тактам и производительность по профилям для разных схем материальных потоков. Основным сдерживающим фактором на исследуемом мелкосортном цехе является участок пакетировки. Авторы предлагают организационно-технические мероприятия по совершенствованию организации материальных потоков и автоматизации пакетировочных линий, оценивают эффективность проектных решений и срок окупаемости инвестиций.

Ключевые слова: анализ производственных процессов, тактовый подход, мелкосортный цех, работающий персонал, участок пакетировки, эффективность работы

Для цитирования: Фастыковский А.Р., Мусатова А.И., Иванова Е.В., Мартюшев Н.В. Повышение эффективности работы мелкосортного цеха. *Известия вузов. Черная металлургия.* 2026;69(1):103–112. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2026-1-103-112>

INCREASING THE EFFICIENCY OF A SMALL-SECTION SHOP

A. R. Fastykovskii¹, A. I. Musatova¹, E. V. Ivanova¹, N. V. Martyushev²

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. Intensive development of the constructional industry for expansion of housing and industrial stock requires an increase in the production of small-section rebars with a linear meter weight of 6 - 8 kg. Such rebars are produced on small-section and small-section wire mills. An increase in the production of small-section building rebars can be implemented in two directions: construction of new high-performance rolling mills; intensification of the work of existing mills due to identification of hidden reserves (“bottlenecks”) and, taking this into account, modernization of equipment and technology. The second direction is less financially costly and requires significantly less time to implement. However, a sound analysis of the constraints is required for making the right decision to improve the existing production. To solve this problem, the authors propose a methodology based on the principles of a clock approach and the necessary calculation formulas which, using the example of a small-section workshop, show the sequence of search and analysis of “bottlenecks”. The paper analyzes the organization of production processes at the areas of a small-section mill and considers in detail two alternative schemes for organizing material flows at the baling area. The actual material presented in tabular forms characterizes the work of the areas of a small-section workshop by cycles and productivity by rebars for different schemes of material flows. The main limiting factor in the small-section shop under study is the baling area. The authors propose organizational and technical measures to improve the organization of material flows and automation of baling lines, evaluate the effectiveness of design solutions and the payback period for investments.

Keywords: analysis of production processes, clock approach, small-section shop, working staff, baling area, work efficiency

For citation: Fastykovskii A.R., Musatova A.I., Ivanova E.V., Martyushev N.V. Increasing the efficiency of a small-section shop. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2026;69(1):103–112. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2026-1-103-112>

ВВЕДЕНИЕ

С целью выявления резервов повышения эффективности функционирования производственной системы в качестве примера выбран мелкосортный цех металлургического предприятия, который отражает совокупность взаимосвязанных технических, технологических, материальных, кадровых и финансовых ресурсов, необходимых для своевременного выпуска и реализации готовой продукции [1 – 3]. Мелкосортные цехи характеризуются высоким уровнем механизации и автоматизации прокатного оборудования, однако некоторые участки (пакетировки) недостаточно механизированы [4 – 6]. Стремление к повышению пропускной способности мелкосортных цехов и улучшению технико-экономических показателей требует разработки организационно-технических мероприятий [7 – 10].

Проведенные комплексные исследования в мелкосортном цехе выявили, что на участках нагрева, прокатки, термического упрочнения, охлаждения и резки функционирует высокоавтоматизированное и механизированное оборудование (за исключением участка пакетировки). Технологические процессы протекают непрерывно, участки связаны между собой единым горячим потоком металла, когда любые задержки, остановки в его движении снижают производительность цеха, производительность труда, выпуск и рентабельность продукции [11 – 14]. По характеру участия рабочего персонала в производственном цикле технологические процессы относятся к аппаратурным, где основными функциями персонала являются контроль и регулирование хода процесса (посадчики и нагревальщики металла, вальцовщики). К машинным относятся процессы, выполняемые на оборудовании при непосредственном управлении персоналом (операторы постов управления, резчики металла), к ручным – процессы, выполняемые работниками вручную на участке пакетировки (обвязка проката, маркировка, клеймение, навешивание бирок).

АНАЛИЗ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Анализ организации технологических и трудовых процессов в мелкосортном цехе показал, что наименее автоматизированным и наиболее трудоемким участком с использованием ручного труда является участок пакетировки металлопродукции, на котором задействовано следующее количество работающего персонала: 28 упаковщиков и 16 маркировщиков готового проката. Обвязка проката на участке пакетировки осуществляется в стационарных карманах (четыре по правой

стороне стана и три по левой). Упаковка в карманах и навешивание грузовых колец производится вручную уборщиками готового проката. Бирки изготавливаются на отдельных машинах и также навешиваются вручную клеймовщиками готового проката. Такая работа связана с большими затратами физических усилий и протекает в условиях повышенной температуры из-за излучаемого горячим металлом тепла.

Основными недостатками существующей организации труда на участке пакетировки являются:

- значительная численность рабочих из-за большого количества ручных операций, связанных с упаковкой, клеймением, маркировкой и уборкой металлопроката; низкая производительность труда, особенно при упаковке малотоннажных пачек готового проката;

- жесткая связь работы участков пакетировки и прокатки приводит к сдерживанию процесса производства продукции, так как на увязку, маркировку и уборку пачки затрачивается больше времени, чем на прокатку;

- низкое качество упаковки металлопроката, не удовлетворяющее запросам современных потребителей; существующий процесс не позволяет получать плотную увязку пачек металлопроката и прочный узел на вязке, что приводит к потере части вязок на пачках металлопроката при транспортировке их потребителям;

- невозможность подсчета количества штанг металлопроката в пачке, так как отсутствует автоматизированный их учет.

Для рационализации и повышения технического уровня рабочих мест на этом участке необходимо провести организационно-технические мероприятия [15 – 17] по следующим направлениям:

- внедрение прогрессивных технологических процессов;

- модернизация оборудования, внедрение средств механизации и автоматизированного слежения, учета, контроля за подготовкой и пакетировкой готовой продукции;

- сокращение применения ручного и тяжелого физического труда рабочих.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОГЛАСОВАННОЙ РАБОТЫ УЧАСТКОВ МЕЛКОСОРТНОГО ЦЕХА

Для обоснования степени влияния участка пакетировки на согласованную работу цеха, функционирующего как непрерывно-поточная человеко-техническая система, были определены нормативные такты работы производственных участков. На рис. 1 схематично показана связь производственных участков мелкосортного цеха.

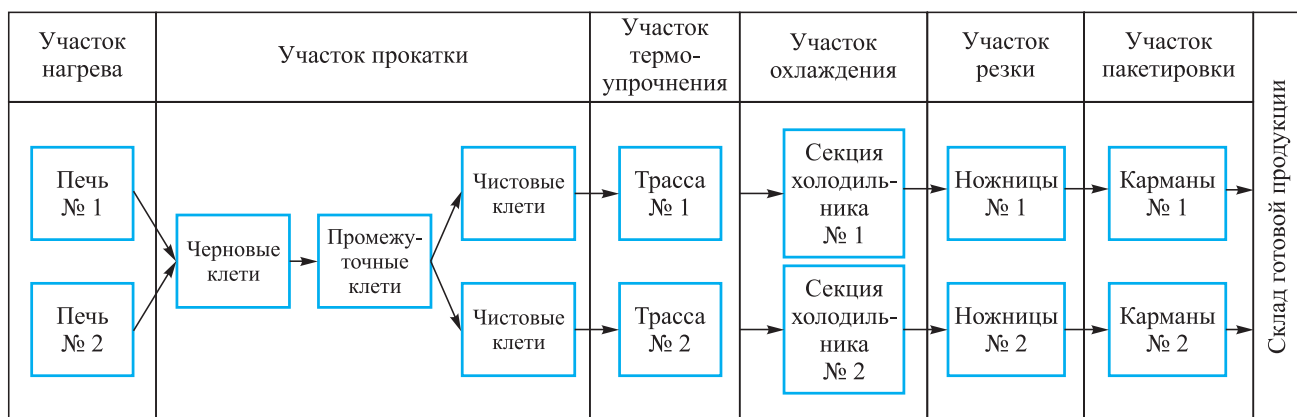


Рис. 1. Схема производственных участков мелкосортного цеха

Fig. 1. Scheme of production areas of the small-section shop

Такты системы (цеха), подсистемы (участков), элементов (оборудования), микроэлементов (механизмов и действий рабочих) имеют свою внутреннюю структуру, которая соответствует структуре технологических и трудовых операций. Такт следует рассматривать как важную временную характеристику, влияющую на производительность системы, которая является одним из главных расчетных элементов при планировании объема производства, а значит, производительности труда и многих других технико-экономических показателей [18].

Такты работы цеха по сортаменту прокатной продукции определялись моделированием следующих процессов: нагрева в печах (такт работы участка нагрева, T_{y1}), прокатки в клетях (такт работы участка прокатки, T_{y2}), термического упрочнения в устройстве (такт работы участка термоупрочнения, T_{y3}), охлаждения на холодильнике (такт работы участка охлаждения, T_{y4}), порезки на ножницах (такт работы участка резки, T_{y5}), пакетирования (такт работы участка пакетирования, T_{y6}).

Единый технически возможный (нормативный) такт работы мелкосортного цеха как производственной системы при последовательном соединении участков определялся по критерию максимальных затрат времени на основании разработанной методики [18; 19]:

$$T_c^{TB(H)} = \max \{ T_{y1}^{TB(H)}, T_{y2}^{TB(H)}, \dots, T_{y6}^{TB(H)} \};$$

$$T_y^{TB(H)} = \frac{T_0^{TB(H)}}{z_0}; T_0^H = \frac{T_0^{TB(H)}}{K_n^H},$$

где $T_{y1}^{TB(H)}, \dots, T_{y6}^{TB(H)}$ – технически возможный (нормативный) такт работы участка, с; $T_0^{TB(H)}$ – технически возможный (нормативный) такт работы одного типового оборудования на участке, с; z_0 – количество параллельно работающего типового оборудования на участке, шт., K_n^H – нормативный коэффициент использования оборудования (рекомендуется в пределах 0,85 – 0,95).

Для технически возможных тактов работы каждой единицы оборудования по участкам цеха учитывались технические, технологические параметры и режимы работы оборудования, уточнялась номенклатура выпускаемой продукции, определялась расчетная единица продукции (штука, пакет или партия) и ее характеристики (масса, количество, длина, объем и т. п.); декомпозировались операции и элементы на машинные, машинно-ручные и ручные; строились циклические графики автономной работы оборудования для всех профилеразмеров. Формирование технически возможных тактов работы каждого участка осуществлялось с учетом пространственного размещения оборудования, его количества и характера взаимодействия.

Процедура выбора технически возможных тактов работы системы (цеха) для каждого профилеразмера осуществлялась путем моделирования согласованной работы основного и вспомогательного оборудования по всем участкам цеха. При этом формировалось множество оценочных тактов, рассматривались возможные варианты возникновения производственных ситуаций в зависимости от изменения внешних и внутренних условий функционирования человеко-технической системы.

Для определения нормативных тактов работы участков устанавливались нормативные коэффициенты использования каждого вида оборудования, которые определялись с учетом степени механизации, автоматизации оборудования, вспомогательных механизмов и приспособлений, а также уровня квалификации обслуживающего персонала: $K_{nj}^H = (1 - q_{ckj}^H)$ (где q_{ckj}^H – нормативная доля скрытых простоев в работе j -го оборудования). Нормативный такт работы j -го оборудования можно представить как $T_{oj}^H = T_{oj}^{TB} + \tau_{ckj}^H$ (где τ_{ckj}^H – нормативное значение скрытых простоев, возникающих в процессе обработки металла на j -м оборудовании, с).

Необходимо учесть, что часть скрытых простоев (пауз) являются технически и технологически неизбежными, зависящими от конструкции оборудования

и вспомогательных механизмов, а также от используемых технологических режимов. Продолжительность таких пауз определяется расчетным путем и включается в состав технически возможного такта работы оборудования. Кроме этого, если процесс на участке не полностью механизирован и имеются ручные операции, не перекрываемые машинным временем, то минимальная их длительность тоже входит в состав технически возможного такта.

Для обоснования нормативных значений скрытых простоев были проведены фотохронометражные и мониторинговые наблюдения в мелкосортном цехе: изучались и фиксировались паузы между операциями, элементами и микроэлементами, уточнялись причины их возникновения. Полученные сведения позволили

определить фактические длительности скрытых простоев, выявить, проанализировать причины и классифицировать их на группы технического, технологического, организационного характера и независящие от работы данного участка, а также построить модель влияния человеческого фактора при организации и оперативном управлении технологическими и трудовыми процессами.

Рассмотрим подробнее методику нормирования такта работы участка пакетировки, где влияние человеческого фактора особенно выражено. На остальных участках (нагрева, прокатки, термоупрочнения, охлаждения, порезки) методики нормирования тактов были изложены в работах [18 – 20]. На участке пакетировки установлены пакето-сборные карманы (рис. 2, а).

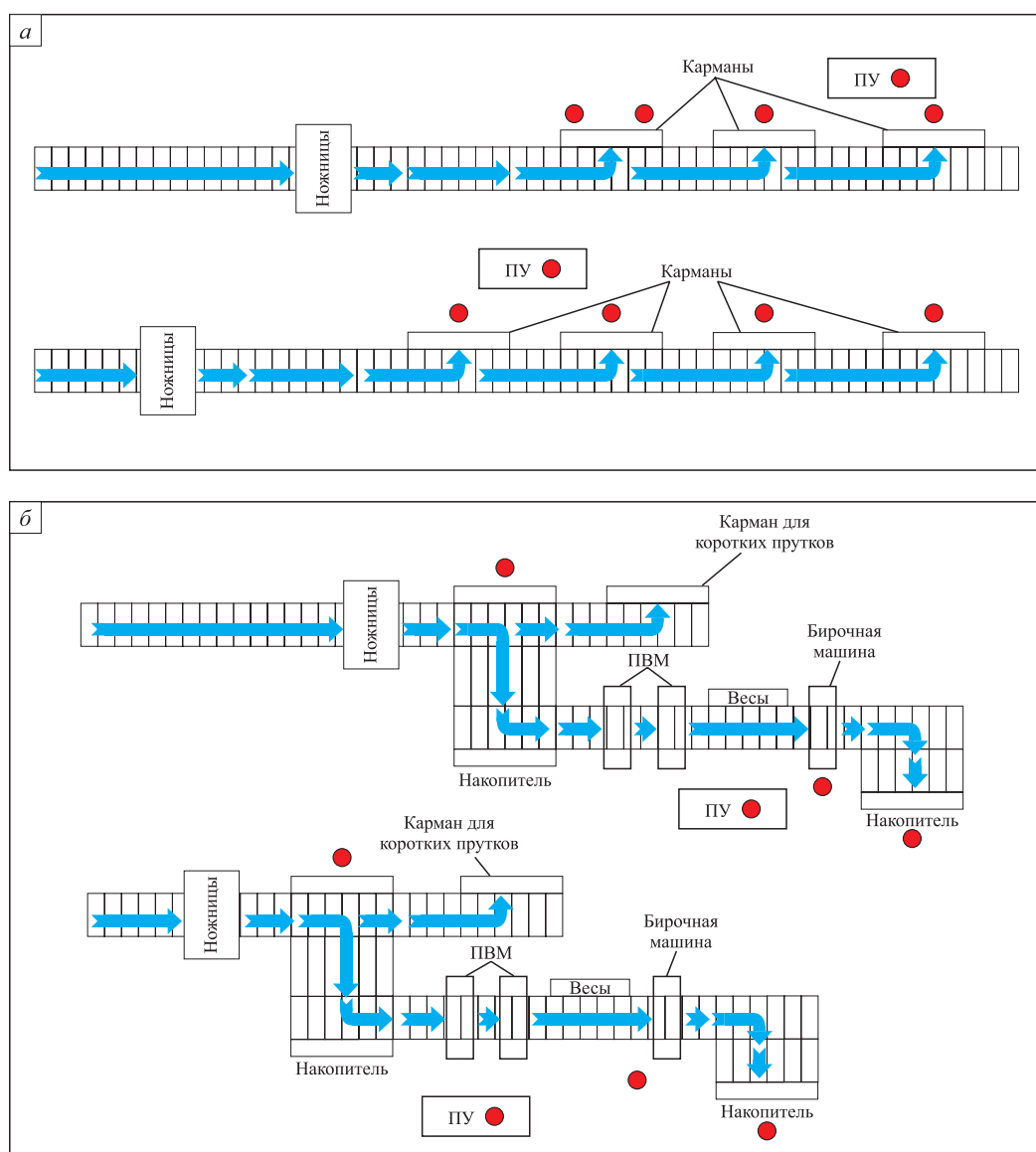


Рис. 2. Действующая (а) и проектируемая (б) схемы организации материальных потоков на участке пакетировки: ПУ – пост управления; ПВМ – пакетоуязальная машина; ● – персонал

Fig. 2. Current (a) and projected (б) schemes for organizing material flows at the baling area: ПУ – control post; ПВМ – baling machine; ● – personnel

Технически возможный такт работы пакетосборного кармана определяется по формуле:

$$T_{\text{пк}}^{\text{ТВ}} = \frac{\tau_{\text{сб}} G_{\text{пк}}}{q_{\text{пг}} l_{\text{г}} Z_{\text{ш.п.}}} + \frac{l_{\text{г}}}{V_{\text{рг}}} (Z_{\text{п}} - 1) + \tau_{\text{обв}},$$

где $\tau_{\text{сб}}$ – время сброса одной пачки в карман, с; $\tau_{\text{обв}}$ – время обвязки пакета готового проката проволокой, с; $Z_{\text{п}}$ – количество пачек в готовом пакете, шт; $Z_{\text{ш.п.}}$ – количество штанг в одной пачке, шт; $l_{\text{г}}$ – длина готовой пачки, м; $q_{\text{пг}}$ – масса погонного метра готового профиля, кг; $G_{\text{пк}}$ – масса пакета готового проката, кг; $V_{\text{рг}}$ – скорость роляганга, м/с.

Время обвязки пакета готового проката определяется по формуле

$$\tau_{\text{обв}} = \frac{(\tau_{\text{об1}} + \tau_{\text{об2}} + \tau_{\text{об3}}) Z_{\text{обв}}}{Z_{\text{чел}}},$$

где $\tau_{\text{об1}}$ – время взятия рабочим обвязочной проволоки, с; $\tau_{\text{об2}}$ – время подхода рабочего к месту обвязки, с; $\tau_{\text{об3}}$ – время собственно обвязки проволокой пакета готового проката вручную рабочим; $Z_{\text{обв}}$ – количество обвязок одной пачки готового проката, шт; $Z_{\text{чел}}$ – количество рабочих, одновременно производящих обвязку проволокой проката в нескольких местах.

На основе исследований было выявлено, что человеческий фактор существенно влияет на такт работы участка пакетировки за счет выполнения ручных операций, отклонение которых составляет 20 – 30 % от их средней величины. Полученные результаты указывают на необходимость разработки нормативного коэффициента использования оборудования, где должна учиты-

ваться (корректирующим коэффициентом) доля влияния ручного труда:

$$K_{\text{н}}^{\text{н}} = \frac{K_{\text{о}}^{\text{н}}}{k_{\text{ч}}^{\text{н}}}; K_{\text{о}}^{\text{н}} < 1; k_{\text{ч}}^{\text{н}} \geq 1; K_{\text{н}}^{\text{н}} = \frac{0,9}{1,06} = 0,85,$$

где $K_{\text{о}}^{\text{н}}$ – нормативный коэффициент использования собственно оборудования; $k_{\text{ч}}^{\text{н}}$ – нормативный коэффициент, учитывающий действия рабочих по обвязке пачек готового проката и их маркировки.

По разработанной нормативной модели сначала рассчитывались технически возможные такты, длительности операций и циклов, устанавливались нормативные значения коэффициентов использования оборудования, затем определялись нормативные такты работы участков с учетом сортамента и производственных ситуаций. Результаты реализации тактовой модели мелкосортного цеха приведены на примере производства арматурного профиля № 16 в табл. 1.

Технически возможный и нормативный такты работы производственной системы (цеха) выбирались из тактов работы каждой подсистемы (участка):

$$T_{\text{с}}^{\text{ТВ}} = \max \{15,00; 21,75; 20,90; 16,50; 18,25; \mathbf{23,80}\} = \mathbf{23,80 \text{ с}};$$

$$T_{\text{с}}^{\text{н}} = \max \{16,70; 23,60; 22,70; 18,10; 19,60; \mathbf{28,00}\} = \mathbf{28,00 \text{ с}}.$$

Сравнительный анализ полученных результатов технически возможных и нормативных значений тактов работы основного участка (прокатки) и вспомогательных участков (нагрева, термоупрочнения, охлаждения, порезки и пакетировки) показал, что «узким местом» в поточной системе является участок пакетировки, который лимитирует работу ведущего участка прокатки.

Таблица 1. Выбор такта работы системы (цеха) для арматурного профиля № 16

Table 1. Selection of operating cycle of the system (shop) for rebar No. 16

Показатель	Значение показателя работы участка						Такт работы цеха
	нагрева в печах	прокатки в клети	термоупрочнения	охлаждения	порезки	пакетировки	
1. Технически возможные такты до модернизации, с	15,00	21,75	20,90	16,50	18,25	23,80	23,80
Нормативные коэффициенты использования оборудования до модернизации	0,90	0,92	0,92	0,91	0,93	0,85	0,85
2. Нормативные такты до модернизации, с	16,70	23,60	22,70	18,10	19,60	28,00	28,00
3. Фактические такты до модернизации, с	33,50	33,50	33,50	33,50	33,50	33,50	33,50
Фактические коэффициенты использования оборудования до модернизации	0,55	0,65	0,62	0,49	0,54	0,71	0,71
4. Технически возможные такты после модернизации, с	15,00	21,75	20,90	16,50	18,25	14,00	21,75
Нормативные коэффициенты использования оборудования после модернизации	0,90	0,92	0,92	0,91	0,93	0,90	0,92
5. Нормативные такты после модернизации, с	16,70	23,60	22,70	18,10	19,60	15,60	23,60

Как видно из табл. 1, полученные нормативные коэффициенты использования оборудования имеют высокие значения (0,90 – 0,93) на всех участках, кроме участка пакетировки, где значение намного ниже (0,85) за счет нестабильности выполнения ручных операций. Анализ фактических коэффициентов использования оборудования по сравнению с нормативными выявил, что механизированное и автоматизированное технологическое оборудование (прокатные клети) на основном участке недоиспользуется на 27 %, что вызвано неэффективным процессом пакетировки готовой продукции. На остальных участках (нагрева, термоупрочнения, охлаждения, порезки) недоиспользование оборудования составляет 45 – 30 % за счет резервного времени, а также времени ожидания обработки продукции на участке пакетировки. Кроме того, анализ организации трудовых процессов и условий труда рабочих на участке пакетировки выявил такие факторы, как использование ручного труда с тяжелой физической нагрузкой при повышенном уровне шума и тепловом излучении металла.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ РАБОТЫ УЧАСТКА ПАКЕТИРОВКИ

С целью улучшения условий и сокращения ручного труда персонала на участке пакетировки, а также обеспечения ритмичной работы цеха в непрерывном технологическом потоке предложено механизировать и автоматизировать процесс упаковки проката в пакеты, что даст возможность:

- улучшить качество готовых пакетов;
- сократить затраты времени на получение готового пакета и затраты на обвязочные материалы (обвязочная проволока);
- увеличить конкурентоспособность продукции на рынке за счет товарного вида и соответствия прокатной продукции требованиям мировых стандартов;
- сократить количество ручных операций за счет установки вязальных машин, что исключает человеческий фактор в процессе обвязки мотков в пакеты;
- улучшить учет, контроль и слежение за текущей информацией о пакетах за счет установки системы мониторингового слежения;
- расширить возможность поставки пакетов в зависимости от массы, длины и количества штанг.

После проведения модернизации на участке пакетировки существенно изменится организация производственного процесса (рис. 2, б).

Пачки штанг будут сортироваться на участке холодной резки и подаваться на конвейер упаковочной линии, где с помощью передаточного стола будут поступать к счетчику штанг и далее – на накопительную станцию проката, где формируется пакет проката из необходимого количества штанг. Далее пакет проката передается по рольгангу к обвязочному столу и пакетировщику, где

при помощи двух вязальных машин будет осуществляться автоматическая обвязка пакета. Затем пакет по рольгангу транспортируется к роликовому конвейеру, где он взвешивается и навешиваются бирки. Готовые пакеты подаются на накопительный конвейер, а с него транспортируются электромостовым краном на склад готовой продукции, где укладываются в штабеля.

В результате ввода в эксплуатацию автоматизированного пакетировочного комплекса изменятся выполняемые функции производственного персонала. *Оператор поста управления* будет осуществлять контроль за работой механизмов упаковочной линии и управлением механизмами через программируемый контроллер в режиме «Автоматика». *Упаковщик готового проката* будет производить строповку и уборку пакетов мерной длины с накопительного конвейера с помощью электромостового крана. *Маркировщик готового проката* будет осуществлять контроль за правильностью маркировки продукции и оформлением первичной документации на продукцию, а также осуществлять ввод информации на ПЭВМ.

До модернизации на участке пакетировки по штатному расписанию (нормативу) численность рабочего персонала составляет 44 чел. (28 упаковщиков и 16 маркировщиков). В связи с внедрением пакетировочных линий произойдет сокращение численности персонала по уборке готового проката с шести до четырех человек в смену (по два упаковщика на линию) и маркировщиков готового проката с четырех до двух человек в смену (по одному на каждую линию), то есть высвобождается 15 чел., из них 9 упаковщиков и 6 маркировщиков.

После предлагаемого внедрения автоматизированного производственного комплекса рассчитываются технически возможный и нормативный такты работы участка пакетировки. Технически возможный такт работы пакетирующего агрегата определяется по следующим формулам:

$$T_{\text{па}}^{\text{ТВ}} = t_{\text{ук}} + \tau_{\text{обв}}; t_{\text{ук}} = t_{\text{к}} Z_{\text{сл}} + t_{\text{тр.у}} (Z_{\text{сл}} - 1); t_{\text{тр.у}} = \frac{l_{\text{р.у}} - l_{\text{г}}}{V_{\text{рг}}};$$

$$\tau_{\text{обв}} = \left(\frac{2S_{\text{пк1}}}{V_{\text{пк1}}} + \frac{d_{\text{пк}}}{V_{\text{вг}}} \right) Z_{\text{обв}} + \frac{S_{\text{пк2}}}{V_{\text{пк2}}} (Z_{\text{обв}} - 1),$$

где $t_{\text{ук}}$ – время набора пакета проката машиной-укладчиком, с; $\tau_{\text{обв}}$ – время обвязки пакета пакетовязальной машиной, с; $t_{\text{к}}$ – время кантовки слоя проката магнитным кантователем, с; $Z_{\text{сл}}$ – количество слоев в готовой пачке, шт; $t_{\text{тр.у}}$ – время транспортировки одного слоя к укладчику, с; $l_{\text{р.у}}$ – длина рольганга перед магнитным укладчиком, м; $l_{\text{г}}$ – длина готовой пачки, м; $S_{\text{пк1}}$ и $S_{\text{пк2}}$ – пути поперечного и продольного перемещения пакетовязальной машины, м; $V_{\text{пк1}}$ и $V_{\text{пк2}}$ – скорости поперечного и продольного перемещения пакетовязальной машины, м/с; $d_{\text{пк}}$ – диаметр обвязываемой пачки проката, м; $V_{\text{вг}}$ – скорость перемещения вязальной головки

машины, м/с; $Z_{\text{обв}}$ – количество обвязок одной пачки готового проката, шт.

Предлагаемая модернизация реализуется только на участке пакетировки, поэтому значения тактов на данном участке изменятся, на других участках значения тактов останутся неизменными. Это наглядно продемонстрировано в табл. 1 на примере арматурного профиля № 16.

Следует отметить, что нормативный коэффициент использования оборудования на участке пакетировки увеличится до 0,9. Тогда загрузка прокатных клетей увеличится в среднем на 11 %, на других участках уровень загрузки оборудования повысится на 5 – 14 %. На участке пакетировки резервное время составит 20 %, что даст возможность в некоторых производственных ситуациях один агрегат не использовать, при этом сократятся издержки производства.

В процессе моделирования работы основного и вспомогательного оборудования по участкам цеха были определены такты системы (технически возможные и нормативные) для заданного сортамента (круглые, арматурные и угловые профили), на основании которых рассчитаны производительности цеха по сортаменту и средневзвешенные (табл. 2). Обоснован нормативный фонд времени работы оборудования с учетом разработанной классификации текущих простоев по причинам их возникновения (технические, технологические, организационные, независимые), определены объемы производства по сортаменту на плановый (нормативный) период времени, рассчитана производственная мощность.

Также в работе определены проектная производственная себестоимость единицы продукции с учетом влияния роста объема производства, доли условно-постоянных и переменных затрат, ожидаемая экономия и дополнительные расходы, связанные с модерниза-

цией. Реальные инвестиции в основные фонды составят 386,1 млн руб.

Одним из важнейших направлений совершенствования организации производственных процессов является нормирование. Разработанная нормативная модель функционирования мелкосортного цеха позволяет сформировать нормативную базу таких показателей, как длительности операций (технологических, трудовых, контрольных и транспортных), циклы и такты производственных процессов, численность персонала, участвующего непосредственно в технологических процессах, в их управлении и активном наблюдении. Определены нормативы численности рабочего персонала. После проведения модернизации на участке пакетировки выпуск продукции увеличится на 18 % за счет повышения производительности цеха с 91,1 до 107,8 т/ч и увеличения фонда времени его работы при сокращении текущих простоев по организационным причинам. Кроме этого, увеличится объем продаж, прибыль и рентабельность продукции. В табл. 3 показаны нормативные значения основных технико-экономических показателей цеха до и после внедрения проекта.

Выводы

Предложен тактовый подход для оценки производительности оборудования. Рассмотрен пример использования тактового подхода в условиях мелкосортного цеха. Выявлено, что узким местом в непрерывно-поточной человеко-технической системе является участок пакетировки. Разработаны рекомендации по совершенствованию организации материальных потоков и автоматизации пакетировочных линий.

Внедрение проектных решений на участке пакетировки позволит улучшить технико-экономические показатели мелкосортного цеха. Расчетный срок окупае-

Таблица 2. Производительность системы (мелкосортного цеха)

Table 2. System performance (small-section shop)

Организационно-технические мероприятия	Наименование профилей	Производство, %	Коэффициент трудности	Производительность цеха, т/ч	
				технически возможная	нормативная
До модернизации	1. Круги	7,5	1,0	120,6	102,5
	2. Арматура	75,8	1,1	109,6	93,2
	3. Уголки	16,7	1,3	92,8	78,8
	Итого	100,0	–	–	–
	Среднее значение	–	1,1	107,3	91,1
После модернизации	1. Круги	7,5	1,0	132,0	121,4
	2. Арматура	75,8	1,1	120,0	110,4
	3. Уголки	16,7	1,3	101,5	93,4
	Итого	100,0	–	–	–
	Среднее значение	–	1,1	117,1	107,8

Таблица 3. Техничко-экономические показатели мелкосортного цеха

Table 3. Technical and economic indicators of the small-section shop

Показатель	Единицы измерения	Нормативные значения	
		до модернизации	после модернизации
Производственная мощность	т/год	832 111,5	908 930,2
Выпуск продукции	т/год	697 589,14	826 222,3
Календарное время	сут	365	365
Капитальный ремонт	сут	–	3
Планово-предупредительные ремонты	сут	15,83	12,83
Номинальное время	ч	8380	8380
Текущие простои	ч	722,6	715,6
Действительное время	ч	7657,4	7664,4
Производительность цеха	т/ч	91,1	107,8
Численность рабочих	чел	222	207
Производительность труда	т/чел	3142	3991
Рентабельность продукции	%	20	23

мости инвестиций составляет 1,2 года и подтверждает эффективность использования автоматизированного комплекса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Касумова Н.М., Никитина Л.Н. Оценка повышения эффективности промышленного производства на базе статистического анализа. *Современные аспекты экономики*. 2019;(7(263)):15–24.

Kasumova N.M., Nikitina L.N. Improving the efficiency of industrial production on the basis of statistical analysis. *Sovremennye aspekty ekonomiki*. 2019;(7(263)):15–24. (In Russ.).

2. Cancho-Alvaro B., Rodriguez-Arcos J., Quiroz-Flores J.C. Increased machine efficiency through a production model integrating Lean tools and the ADKAR model in an SME of the metalworking industry. In: *21st LACCEI Int. Multi-Conference for Engineering, Education and Technology. Buenos Aires - ARGENTINA, July 17 – 21, 2023*; 2023. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2023.1.1.121>

3. Красникова А.С. Механизм тактико-стратегической координации подразделений промышленного предприятия в условиях диверсификации. *Вопросы инновационной экономики*. 2019;9(4):1479–1488. <https://doi.org/10.18334/vinec.9.4.41324>

Krasnikova A.S. The mechanism of tactical and strategic coordination of the departments of industrial enterprises under diversification. *Russian Journal of Innovation Economics*. 2019;9(4):1479–1488. (In Russ.). <https://doi.org/10.18334/vinec.9.4.41324>

4. Белов Д.Б., Гореликов А.А. Повышение эффективности использования оборудования на участке фрезеровки цеха металлоконструкций. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2022;(4): 288–291.

Belov D.B., Gorelikov A.A. Improving the efficiency of use equipment at the milling section of the workshop metal structures. *Proceedings of Tula State University. Technical sciences*. 2022;(4):288–291. (In Russ.).

5. Мельников О.Н., Ганькин Н.А., Есипенко Д.А. Эквивалентность знаний при постановке и решении задач как условие организации и управления бережливым производством информационных экономических. *Экономика, предпринимательство и право*. 2020;10(3):635–648. <https://doi.org/10.18334/epp.10.3.100796>

Melnikov O.N., Gankin N.A., Esipenko D.A. Equivalence of knowledge in setting and solving problems as a condition for organizing and managing the lean manufacturing of information economic products. *Journal of Economics, Entrepreneurship and Law*. 2020;10(3):635–648. (In Russ.). <https://doi.org/10.18334/epp.10.3.100796>

6. Dias J.A., Ferreira L.P., Sá J.C., Ribeiro M.T., Silva F.J.G. Improving the order fulfilment process at a metalwork company. *Procedia Manufacturing*. 2019;41:1031–1038. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.10.030>

7. Mitić P., Savić S.P., Djordjevic A., Erić M., Sukić E., Vidojević D., Stefanovic M. The problem of machine part operations optimal scheduling in the production industry based on a Customer's Order. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2023;13(19):11049. <https://doi.org/10.3390/app131911049>

8. Сычев В.А., Сычева Г.И. Оценка стоимости как интегральный критерий эффективности промышленного производства. *Вестник Южно-Российского государственного технического университета (НПИ). Серия: Социально-экономические науки*. 2019;(6):4–12. <https://doi.org/10.17213/2075-2067-2019-6-4-12>

Sychev V.A., Sycheva G.I. Cost estimation as an integral criterion of efficiency of industrial production. *Bulletin of the South Russian State Technical University (NPI). Series: Socio-economic sciences*. 2019;(6):4–12. (In Russ.). <https://doi.org/10.17213/2075-2067-2019-6-4-12>

9. Боброва Н.М., Брызгунова К.А., Плюснина Л.М. Финансово-экономическое обоснование эффективности инвестиционного проекта по техническому перевооружению производства. *Инновационное развитие экономики: тенденции и перспективы: Материалы X Международной научно-практической конференции, Пермь, 26 мая 2022 г.* 2022;1:164–173.
10. Esposito G., Gualtieri C., Romagnoli G. Reduction of changeover time in a small manufacturing make-to-order enterprise: A case study. In: *Proceedings of the Summer School Francesco Turco*. 2020;ID-37.
11. Del Rosario-Malasquez L., Dulce-Meneses E., Viacava-Campos G., Cardenas L. A production process efficiency improvement model at a MSME Peruvian metalworking company. *AIP Conference Proceedings*. 2023;2613(1):020012. <https://doi.org/10.1063/5.0119648>
12. Каранфил Д.Х., Андрюшина И.С. Оценка эффективности инвестиционного проекта. *Вектор экономики*. 2022; (5(71)):50. https://doi.org/10.51691/2500-3666_2022_5_8
Karanfil D.H., Androshina I.S. Evaluation of the effectiveness of the investment project. *Vektor ekonomiki*. 2022;(5(71)):50. (In Russ.). https://doi.org/10.51691/2500-3666_2022_5_8
13. Ходжаев П.Д., Джаборова М.Д. Исследование факторов, влияющих на повышение эффективности промышленных предприятий цветной металлургии. *Вестник Таджикского государственного университета коммерции*. 2022;(1(40)):303–310.
Khodzhaev P.D., Dzhaborova M.J. Factors influencing the efficiency increase of non-ferrous metallurgy industrial enterprises. *Herald of the Tajik State University of Commerce*. 2022;(1(40)):303–310. (In Russ.).
14. Медиков В.Я. Производственные мощности и их использование. Москва: Московский государственный университет печати; 2002:246.
15. Alania D.J.V., Gonzales J.B.C., Bello R.D.A. Simulation model for the optimization of preparation times in a metalworking industry using single minute exchange of dies. In: *Communications in Computer and Information Science. 5th Int. Conf., IEIM 2024, Nice, France, January 10–12, 2024, Proceedings*. 2024:30–42. https://doi.org/10.1007/978-3-031-56373-7_3
16. Anton A., Roque M., Ramos E. Lean warehousing model to improve the order fulfillment in a metalworking company. *CIBE '22: Proceedings of the 8th Int. Conf. on Industrial and Business Engineering*. 2022:90–95. <https://doi.org/10.1145/3568834.3568881>
17. Кучерявенко Д.М. Развитие металлургического промышленного производства в России. *Вестник университета*. 2023;(12):93–100. <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2023-12-93-100>
Kucheryavenko D.M. Metallurgical industrial production development in Russia. *Vestnik Universiteta*. 2023;(12): 93–100. (In Russ.). <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2023-12-93-100>
18. Фастыковский А.Р., Мусатова А.И., Кулаков С.М., Мартюшев Н.В., Карлина А.И. Обоснование нормативных моделей производительности листопрокатного цеха. Сообщение 1. *Черные металлы*. 2023;(1):44–51. <https://doi.org/10.17580/chm.2023.01.07>
Fastykovsky A.R., Musatova A.I., Kulakov S.M., Martyushev N.V., Karlina A.I. Development of situation models for duration of production cycles of manufacturing finished rolled products. Message 1. *Chernye Metally*. 2023;(1): 44–51. (In Russ.). <https://doi.org/10.17580/chm.2023.01.07>
19. Фастыковский А.Р., Мартюшев Н.В., Мусатова А.И., Савченко И.А., Карлина А.И. Обоснование нормативных моделей производительности листопрокатного цеха. Сообщение 1. *Черные металлы*. 2024;(1):9–16. <https://doi.org/10.17580/chm.2024.01.02>
Fastykovsky A.R., Martyushev N.V., Musatova A.I., Savchenko I.A., Karlina A.I. Feasibility demonstration of normative models for sheet-rolling shop productivity. Message 1. *Chernye metally*. 2024;(1):9–16. (In Russ.). <https://doi.org/10.17580/chm.2024.01.02>
20. Фастыковский А.Р., Мусатова А.И., Мартюшев Н.В., Карлина А.И. Обоснование нормативных моделей производительности листопрокатного цеха. Сообщение 2. *Черные металлы*. 2024;(3):63–68. <https://doi.org/10.17580/chm.2024.03.10>
Fastykovsky A.R., Musatova A.I., Martyushev N.V., Karlina A.I. Feasibility demonstration of normative models for sheet-rolling shop productivity. Message 2. *Chernye Metally*. 2024;(3):63–68. <https://doi.org/10.17580/chm.2024.03.10>

Сведения об авторах

Information about the Authors

Андрей Ростиславович Фастыковский, д.т.н., 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

Елена Владимировна Иванова, к.э.н., доцент, заведующий кафедрой «Менеджмент и отраслевая экономика», Сибирский государственный индустриальный университет

ORCID: 0000-0003-3174-0426

E-mail: ivanova_ev@sibsiu.ru

Andrei R. Fastykovskii, Dr. Sci. (Eng.), 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

Elena V. Ivanova, Cand. Sci. (Economics), Assist. Prof., Head of the Chair "Management and Branch Economy", Siberian State Industrial University

ORCID: 0000-0003-3174-0426

E-mail: ivanova_ev@sibsiu.ru

Никита Владимирович Мартюшев, к.т.н., доцент отдела материаловедения, Томский политехнический университет
E-mail: martjushev@tpu.ru

Nikita V. Martyushev, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Prof. of Materials Science, Tomsk Polytechnic University
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 тактового подхода для повышения эффективности производства в прокатных цехах, сбор информации по изучаемому вопросу.

Е. В. Иванова – статистическая обработка информации, оформление иллюстративного материала, написание текста статьи.

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

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

A. I. Musatova – developing a clock approach to improve production efficiency in rolling mills, collecting information on the issue.

E. V. Ivanova – statistical information processing, design of illustrative material, writing the text.

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

Поступила в редакцию 24.04.2025
 После доработки 15.07.2025
 Принята к публикации 15.11.2025

Received 24.04.2025
 Revised 15.07.2025
 Accepted 15.11.2025