

УДК 669.046

ПРИМЕНЕНИЕ ТАКТОВЫХ МОДЕЛЕЙ В ЗАДАЧАХ РЕИНЖИНИРИНГА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ В МЕТАЛЛУРГИИ

*Кулаков С.М., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой автоматизации
и информационных систем*

*Мусатова А.И., доцент кафедры корпоративной экономики
и управления персоналом (musatova-ai@yandex.ru)*

*Кадыков В.Н., к.т.н., доцент кафедры обработки металлов давлением
и металловедения. ЕВРАЗ ЗСМК*

Баранов П.П., д.э.н., доцент, директор института экономики и менеджмента

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

Аннотация. Рассмотрена задача построения тактовых моделей функционирования сложных производственных систем и их применения в реинжиниринге объектов черной металлургии. Разработана классификация моделей тактов по их назначению, масштабу объекта исследования, степени непрерывности материального потока, количеству одновременно обрабатываемых полупродуктов, количеству производственных операций, важности оборудования, статистическим характеристикам такта, степени механизации и автоматизации оборудования, по входу и выходу материального потока. Показана ведущая роль показателя «производительность» и его связи с другими технико-экономическими показателями производственной системы. Приведена факторная модель производительности системы и выделен основополагающий фактор – такт системы. Предложена базовая формула для оценивания производительности на основе такта. Показана методика выявления «узких мест» производственной системы на базе тактового подхода и оценки эффективности мероприятий реинжиниринга. Приведен пример применения тактовых моделей для анализа «узких мест» в прокатном производстве. Отмечена возможность применения тактовых моделей для планирования, прогнозирования и оперативного управления производством.

Ключевые слова: производительность, производственная система, технико-экономические показатели, взаимосвязи, классификация, модели тактов, «узкое место» поточной системы, нормативная база.

DOI: 10.15825/0368-0797-2015-5-367-375

В современных условиях работы предприятия постоянно возникают вопросы инжиниринга (реинжиниринга) производственных систем (ПС), связанные с улучшением важнейшего показателя их эффективности – производительности, которая является основой формирования прибыли предприятия. Производственная система рассматривается как сложный целостный динамичный объект, конкретными примерами которого являются: предприятие, производственный комплекс, цех, участок. Эффективность функционирования такой системы обеспечивается совокупностью взаимосвязанных технических, технологических, материальных, кадровых и финансовых ресурсов, необходимых для своевременного выпуска и реализации продукции с целью получения максимальной прибыли [1, 2].

Производительность системы – широко известный термин, который в промышленности обычно связывают со средствами производства (производительность механизмов, машин, агрегатов), с предметами труда (производительность по видам продукции), с производственными процессами (производительность процесса), с трудом человека (производительность труда) и с про-

изводственной системой в целом. Все эти разновидности понятия «производительность» связаны между собой, дополняют друг друга и имеют единую основу, а именно – количество продукции (в единицах массы, объема, в штуках), произведенной за единицу времени (час, смену, сутки, месяц, год) [3, 4]. Иногда термин «производительность» заменяется на термин «выпуск продукции» или «производственная мощность». С точки зрения инжиниринга целесообразно производительность интерпретировать как индикатор эффективности функционирования человеко-технического комплекса, осуществляющего преобразование сырья, материалов, полуфабрикатов в готовые продукты.

Производительность ПС предлагается классифицировать в рамках следующего признакового пространства: область применения, единичный интервал времени, сортамент (виды) продукции, производственная ситуация. Производительность должна оцениваться на всех стадиях жизненного цикла системы (концептуальная проработка, проектирование, строительство, эксплуатация). На стадии проектирования рассчитывается проектная производительность ПС (теоретическая, технически возможная, нормативная) для разных единиц

времени (час, сутки, год) по каждому виду продукции и в среднем по сортаменту с учетом максимального (для теоретической и технически возможной производительности) и рационального (для нормативной производительности) использования оборудования. Для действующей ПС определяются производительности: фактическая (на основе отчетных, учетных и хронометражных данных), плановая, нормативная, технически возможная по каждому виду продукции и средневзвешенная по заданным видам продукции.

Теоретическая производительность ПС – выпуск продукции за единицу времени при идеальной безостановочной работе оборудования и непрерывной обработке материалов или полуфабрикатов. Она отражает только машинные возможности оборудования при условии, что вся система будет работать синхронизированно в автоматическом режиме.

Технически возможная производительность ПС – максимально возможный выпуск продукции за единицу времени (час, сутки) конкретного сортамента в условиях наилучшего использования оборудования и производственных площадей при наиболее совершенной технологии, организации производства и труда с учетом технически и технологически неизбежных пауз в работе системы.

Нормативная производительность ПС – выпуск продукции заданного сортамента за единицу времени, учитывающий не только технически и технологически неизбежные паузы в работе оборудования, но и скрытые простои, вызванные организационными и прочими факторами вероятностного характера.

Плановая производительность ПС – принятый в качестве задания выпуск продукции за единицу времени по отдельным ее видам или в среднем по сортаменту, получаемый обычно путем корректирования фактической производительности с учетом влияния организационно-технических условий планируемого периода. При стабильной работе системы в качестве плановой может быть принята нормативная производительность.

Фактическая (отчетная) производительность ПС соответствует достигнутому выпуску продукции в единицу времени при фактической структуре сортамента.

Показатель «производительность» ПС используется для решения задач: стратегического, календарного и оперативного производственного планирования; диспетчерского управления производством в изменяющейся ситуационной обстановке; анализа пропускной способности сложных многоструктурных производственных комплексов; планирования и корректировки показателей по труду; формирования нормативно-технического паспорта системы; оценивания коэффициентов трудности по видам продукции, необходимых при составлении сортаментных калькуляций и других нормативно-плановых документов; анализа и совершенствования показателей финансово-хозяйственной деятельности предприятия.

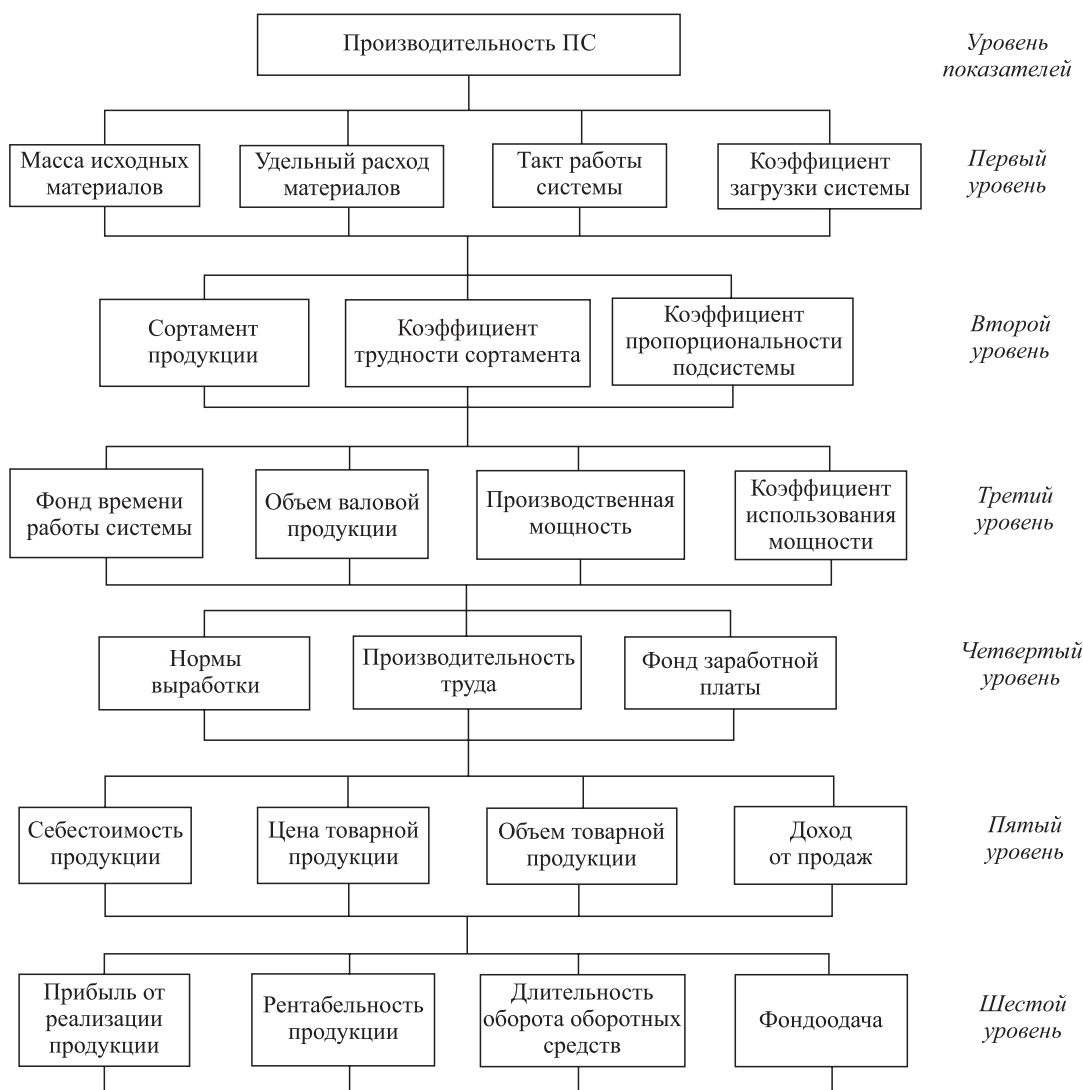
Производительность системы рассчитывается с учетом производственных ситуаций: планируемых, прогнозируемых или характерных для данной ПС, различающихся количеством одновременно работающего оборудования, возможными технологическими режимами и маршрутами, объемами заказов и номенклатурой продукции, организационно-техническими мероприятиями и другими факторами [5, 6]. На производительность влияет множество факторов (см. рисунок) как внешних по отношению к ПС, так и внутренних. Основными факторами являются такт T , масса G и удельный расход материалов k_p , загрузка оборудования K_n , фонд времени работы системы (ФВ) и сортамент продукции S :

$$P_{ПС} = f(T, G, k_p, K_n, \text{ФВ}, S). \quad (1)$$

Такт работы системы как основополагающий фактор производительности, на который в свою очередь оказывают влияние другие вышеперечисленные факторы, подробнее рассматривается далее.

Масса исходного материала, перерабатываемого за один такт, оказывает непосредственное влияние на производительность оборудования (подсистемы, системы). При оптимальном увеличении массы в пределах, обусловленных конкретными организационно-техническими условиями, обеспечивается наибольший рост производительности с учетом неизменности остальных факторов.

Расходный коэффициент материала (соответствующий обратному значению показателя выхода годной продукции) зависит от ряда условий: точности соблюдения технологических режимов, технического состояния оборудования, квалификационного уровня обслуживающего персонала, качества исходных материалов, степени организованности производственных процессов при функционировании всей системы и рациональности принимаемых руководством оперативных управленческих решений. Значение расходного коэффициента i -го материала может быть: теоретическим (идеальным) $k_p^T = 1$, когда предполагается, что нет каких-либо потерь материала; технически возможным $k_p^{TB} > 1$, когда учитываются технологически неизбежные потери материала, т.е. $k_p^{TB} = k_p^T + \Delta k_p^{TB}$; нормативным $k_p^H > 1$, когда учитываются обоснованные дополнительные потери материала, т.е. $k_p^H = k_p^T + \Delta k_p^{TB} + \Delta k_p^H$; плановым, когда корректируются потери материала, связанные со сложившимися производственными ситуациями, т.е. $k_p^{Пл} = k_p^H + \Delta k_p^{Пл}$, а в остальных случаях $k_p^{Пл} = k_p^H$. Фактическое значение расходного коэффициента ($k_p^Ф$) i -го материала отражает как технологически неизбежные потери, так и потери, образующиеся при отклонениях технологических режимов, технического состояния оборудования и оперативном управлении производственными процессами. При этом возможны следующие варианты соотношений фактических значе-



Взаимосвязи производительности системы с другими технико-экономическими показателями

Correlations of system capacity with other engineering-and-economic performances

ний расходных коэффициентов, характеризующих уровень экономической эффективности действующей ПС: $k_p^\phi = k_p^H$, $k_{np}^\phi = k_{np}^{пл}$; $k_p^\phi > k_p^H$, $k_{np}^\phi > k_{np}^{пл}$.

В тесной связи с производительностью ПС находятся коэффициенты *трудности* ($k_{тр}$), *пропорциональности* ($k_{пр}$), *использования оборудования* ($K_{и}$):

$$k_{тр} = \frac{P_o}{P_i}; k_{пр} = \frac{P_{вс}}{P_{гл}}; K_{и}^\phi = \frac{P_{пс}^\phi}{P_{пс}^{тв(н)}}; K_{и}^H = \frac{P_{пс}^H}{P_{пс}^{тв}}. \quad (2)$$

Коэффициенты трудности (сложности) производства продукции рассчитываются исходя из производительности ПС по основной типопредставительной продукции P_o по отношению к остальным видам продукции P_i . Коэффициенты пропорциональности определяются как отношение производительности вспомогательных подсистем ($P_{вс}$) к производительности основной ведущей подсистемы ($P_{гл}$). Фактический коэффициент интенсивного использования оборудования

(подсистемы, ПС), определяется отношением отчетной производительности к технически возможной ($P_{пс}^{тв}$) или нормативной ($P_{пс}^H$) производительности ПС.

Сопоставление фактических коэффициентов использования оборудования с нормативными дает возможность анализировать фактический фонд времени работы ПС, выявлять реальные паузы, задержки (скрытые простои), не учитываемые в отчетной документации, определять «чистое» время работы подсистем и системы в целом для разработки организационно-технических мероприятий, направленных на сокращение или ликвидацию простоев.

Производительность зависит от *сортамента выпускаемой продукции*, от возникающих в период функционирования ПС производственных ситуаций, связанных с технологией, техникой, качеством сырья и материалов, с маршрутами материальных потоков, с количеством работающего оборудования в каждой подсистеме.

Производительность системы является одним из главных факторов при определении показателей *объема производства* (производственной мощности, валовой, товарной, реализованной продукции) и связанных с ними показателями: производительность труда, трудоемкость продукции, уровень заработной платы персонала; фондоотдача, скорость и длительность оборота оборотных средств; себестоимость, прибыль и рентабельность продукции.

Производительность системы с последовательной структурой подсистем, как правило, определяется через их производительности $P_{\text{ппс1}}, P_{\text{ппс2}}, \dots, P_{\text{ппс}\gamma}$, по формуле

$$P_{\text{пс}} = \min \left\{ P_{\text{ппс1}} = \frac{G_{\text{ппс1}}}{T_{\text{ппс1}} k_p^{\text{ппс1}}}; P_{\text{ппс2}} = \frac{G_{\text{ппс2}}}{T_{\text{ппс2}} k_p^{\text{ппс2}}}; \dots; P_{\text{ппс}\gamma} = \frac{G_{\text{ппс}\gamma}}{T_{\text{ппс}\gamma} k_p^{\text{ппс}\gamma}} \right\}, \quad (3)$$

которая может быть эквивалентно преобразована в выражение, где расходные коэффициенты для подсистем представлены в мультипликативном виде ($k_p^{\text{ппс1}} k_p^{\text{ппс2}} \dots k_p^{\text{ппс}\gamma} = k_p^{\text{пс}}$):

$$P_{\text{пс}} = \min \left\{ P_{\text{ппс1}} = \frac{G_{\text{ппс1}}}{T_{\text{ппс1}} k_p^{\text{ппс1}}}; P_{\text{ппс2}} = \frac{G_{\text{ппс1}}}{T_{\text{ппс2}} k_p^{\text{ппс1}} k_p^{\text{ппс2}}}; \dots; P_{\text{ппс}\gamma} = \frac{G_{\text{ппс1}}}{T_{\text{ппс}\gamma} k_p^{\text{пс}}} \right\}. \quad (4)$$

Основным недостатком расчета производительности ПС по формулам (3), (4) является необходимость предварительной оценки производительности каждой подсистемы, при вычислении которой возникают трудности не только с определением тактов работы подсистем $T_{\text{ппс1}}, T_{\text{ппс2}}, T_{\text{ппс}\gamma}$, но и с получением достоверных данных о расходных коэффициентах подсистем.

Для упрощения расчета предлагается оценивать производительность сложной производственной системы без предварительных расчетов производительностей подсистем и соответствующих расходных коэффициентов. При этом производительность ПС вычисляется через такты работы подсистем и общий расходный коэффициент материалов $k_p^{\text{пс}}$ системы:

$$P_{\text{пс}} = \frac{G_{\text{ппс1}}}{\max \{ T_{\text{ппс1}}, T_{\text{ппс2}}, \dots, T_{\text{ппс}\gamma} \} k_p^{\text{пс}}}. \quad (5)$$

Предлагаемая формула соответствует тактовому подходу к оценке производительности человеко-технических систем, который рекомендуется применять при анализе и обосновании модернизации действующих производств. Следует отметить, что в теоретических и методических аспектах тактовому подходу уделяется недостаточное внимание. Отсутствует системность при определении границ и структуры такта, нет классифи-

кации и математического описания тактов, мало изучены связи между тактами элементов системы. При этом под тактом традиционно понимается интервал времени, через который периодически производится выпуск единицы продукции определенного вида на одном оборудовании (агрегате, участке).

Известно несколько терминов, соответствующих такту, например: период, темп, ритм. Следует уточнить терминологию и отметить, что такт – это временной интервал, который характеризует длительность конкретного процесса. Ритм (темп) R – это показатель обратно пропорциональный такту и соответствующий количеству продукции, произведенной за данный интервал B времени: $R = B : T$.

Понятие «такт» правомерно относится к процессам (технологическим, транспортным, контрольным, трудовым); к потокам (материальным, трудовым, а также информационным и финансовым); к работе оборудования (агрегатов, участков, цехов, подразделений, предприятия). По нашему мнению, в металлургическом производстве целесообразно рассматривать такты с двух позиций: по отношению к материальному потоку и по отношению к функционирующему агрегату. Значения тактов для конкретного агрегата и обрабатываемого продукта должны совпадать, а структура их моделей может быть различной [7].

Предлагается классифицировать такты по группам и признакам, характеризующим производственные процессы и производительности ПС (табл. 1). Разработанная классификация тактов включает девять групп, которые отличаются конкретными признаками. При этом каждая составляющая группы характеризуется наименованием, условным обозначением, структурой и формульным представлением.

Такты первой группы по назначению соответствуют видам производительности ПС. Такты второй группы соответствуют структуре производственного процесса, где такты системы (предприятия, цеха) органично связаны с тактами работы подсистем (участков, групп оборудования), их элементов (оборудования) и микроэлементов (механизмов, узлов). В третьей группе представлены такты по вариантам в зависимости от степени непрерывности функционирования производственного процесса с учетом согласованной работы оборудования и скорости движения материального потока. В четвертой группе рассматриваются такты процесса изготовления единицы продукции, за которую принимается либо штука, либо партия штук. В пятой группе представлены такты, структурированные из одной или множества производственных операций (элементов и микроэлементов).

Такты шестой группы выделены в соответствии с назначением каждого типа оборудования по степени значимости: основной, где осуществляется главная операция процесса, и вспомогательные, которые обеспечивают предварительные и последующие процессы

Классификатор тактов производственной системы

Table 1. Qualifier of time steps of the production system

Наименование тактов	Модели тактов	Примечания
I. По назначению тактов		
1. Теоретический	$T^T(i) = \sum_{k=1}^K t_{ki}^o$	t_{ki}^o – длительность k -го элемента основной операции при производстве i -й продукции
2. Технически возможный	$T^{TB}(i) = \sum_{k=1}^K t_{ki}^o + \sum_{v=1}^V t_{vi}^n$	t_{vi}^n – продолжительность v -й технической и (или) технологически неизбежной паузы, связанной с работой вспомогательных механизмов или с трудовыми операциями в условиях наилучшего использования оборудования
3. Нормативный	$T^H(i) = \sum_{k=1}^K t_{ki}^o + \sum_{k=1}^K t_{vi}^n + \Delta\tau_{ск}^H$	$\tau_{ск}^H$ – нормативная длительность скрытых простоев (пауз) технического, технологического, эргономического характера
4. Плановый	$T^{ПЛ}(i) = T^H(i) + \Delta\tau_{ск,о}^{ПЛ}$ $T^{ПЛ}(i) = T^{TB}(i) + \Delta\tau_{ск}^H + \Delta\tau_{ск,о}^{ПЛ}$	$\Delta\tau_{ск,о}^{ПЛ}$ – скрытые простои организационного характера, зависящие от производственных ситуаций на объекте
5. Прогнозный	$T^{пр} = f(F_M, T^T, F_{пр})$	F_M – предполагаемые организационно-технические мероприятия; $F_{пр}$ – ожидаемые изменения прочих факторов
6. Фактический	$T^\Phi(i) = G_i : P_i$	T^Φ фиксируется в процессе производства с помощью хронометражных (в том числе автоматических) замеров и оперативного учета
	$T^\Phi(i) = \Phi B_i : ВП_i$	T^Φ рассчитывается по отчетным данным
II. По масштабности объекта исследования		
1. Системный	$T_c = \max \{ T_{псj} \mid j=1, J \}$	$T_{псj}$ – такт работы j -й подсистемы
2. Подсистемы	$T_{псj} = \max \{ T_{псj\gamma} \mid \gamma=1, \gamma^* \}$	$T_{псj\gamma}$ – такт работы γ -го элемента j -й подсистемы
3. Элементный	$T_{псj\gamma} = \max \{ t_m \mid m=1, m^* \}$ $T_{псj\gamma} = t_1 + t_2 + \max \{ t_m \}$	t_m – длительность m -х микроэлементов γ -го элемента
4. Микроэлементный	$T_{псj\gamma m} = \tau_1 + \tau_2 + \dots + \tau_\sigma$	τ_σ – длительность σ -х действий, движений механизмов или персонала m -го микроэлемента
III. По степени непрерывности материального потока		
1. Для непрерывного процесса	$T_{ин}(i) = T^T(i) = \frac{L}{V}$	В условиях непрерывно работающего оборудования и непрерывного материального потока (исключающих паузы); L – условно единичный путь потока материалов; V – скорость движения (обработки) материалов
2. Для для полунепрерывного процесса	$T_{ин}(i) = T^H(i)$	В условиях наличия скрытых простоев (пауз) в работе оборудования при непрерывном материальном потоке
	$T_{ин}(i) = T^{TB}(i) + \tau_{ск}^H(i)$	В условиях непрерывного функционирования оборудования при наличии пауз в процессе обработки материального потока
3. Для периодического (циклического) процесса	$T_{пд}(i) = T^H(i) + t_{тпр}^H(i)$ $T_{пд}(i) = T^{TB}(i) + \tau_{ск}^H(i) + t_{тпр}^H(i)$	$t_{тпр}^H$ – текущие простои, при которых двигатели оборудования отключаются и материальный поток прерывает процесс обработки
IV. По количеству одновременно обрабатываемых предметов труда (полупродуктов)		
1. Штучный (однопредметный)	$T_{шт}(i) = T_{шт1}(i)$	За единицу измерения продукции принимается штука (заготовка, плавка или деталь)
2. Партийный (многопредметный)	$T_{прт}(i) = T_{\Sigma шт}(i)$	Учитывается партия (пачка, пакет, садка, порция)
V. По количеству производственных операций		
1. Однооперационный (простой)	$T_1 = t_1$	Состоит из одной производственной операции (элемента)

Т а б л и ц а 1 (продолжение)

Наименование тактов	Модели тактов	Примечания
2. Многооперационный (сложный)	$T_z = T_{псjγ}; T_z = T_{псjγm};$ $T_z = T_{псjγmσ}$	Состоит из множества операций (элементов) или имеющих в своем составе элементы такта, которые декомпозируются на микро-элементы
VI. По значимости используемого оборудования		
1. Основной (главный, ведущий)	$T_o^{т(тв, пл, пр, ср)}$ рассчитывается по ведущему агрегату	Определяется по главному (ведущему) агрегату в производственной системе, на котором осуществляется основная операция процесса
2. Вспомогательный	$T_{вс}^{т(тв, пл, пр, ср)}$ рассчитывается по вспомогательным агрегатам	Определяется по вспомогательным (обслуживающим) агрегатам в системе, которые обеспечивают предварительный или последующий процесс обработки основной операции
VII. По статистическим характеристикам тактов		
1. Минимальный	$T_{min} = \min\{T_{пс1}, T_{пс2}, \dots, T_{псj}\}$	Выбирается минимальное значение такта из всего ряда тактов работы подсистем
2. Максимальный	$T_{max} = \max\{T_{пс1}, T_{пс2}, \dots, T_{псj}\}$	Выбирается максимальное значение такта из всего ряда тактов работы подсистем
3. Средний (по виду продукции)	$T_{ср1} = \{T_1 + T_2 + \dots + T_a\} : \alpha$	Вычисляются различные виды средних значений из интервального ряда оценок: • средний арифметический с учетом общего количества оценок тактов (α);
	$T_{ср2} = \alpha_1 T_1 + \alpha_2 T_2 + \dots + \alpha_x T_x$	• средневзвешенный, $\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_x = 1$;
	$T_{ср3} = G_{ср} : P_{ср}$	• средневзвешенный (укрупненный); $G_{ср}$ – средняя масса единицы продукции
	$T_{ср4} = \text{med}\{T_1, T_2, \dots, T_a\}$	• средний медианный, характеризующий центр, около которого группируется основное количество значений тактов;
	$T_{ср5} = T_{mod}$	• средний модовый, характеризующий наиболее часто встречающиеся значения
4. Средний (по сортаменту продукции)	$T_{ср} = a_1 T_1 + a_2 T_2 + \dots + a_i T_i$	Средневзвешенный такт с учетом доли производства i -го вида продукции (a_i) на заданном отрезке времени
VIII. По степени механизации и автоматизации оборудования		
1. Аппаратурного процесса	$T_a(i) = T^т(i)$	Продолжительность физико-химических операций в специальных аппаратах, оснащенных полностью средствами механизации и автоматизации
2. Машинного процесса	$T_m(i) = T^{тв}(i)$	Продолжительность физико-механических операций с применением автоматизированных механизмов и машин
3. Машино-ручного процесса	$T_{м.р.}(i) = T_i(i) + \tau_{рб}(i)$	Продолжительность трудовых операций ($\tau_{рб}$), связанных с непосредственным участием персонала (рабочего) в управлении материальными потоками или обслуживанием машин
4. Ручного процесса	$T_p(i) = \tau_{p1}(i) + \tau_{p2}(i) + \dots + \tau_{pn}(i)$	Продолжительность трудовых операций, связанных с обработкой и перемещением материалов, выполняемых рабочими
IX. По входу или выходу предметов труда при работе оборудования		
1. Входной	$T_{вх}$ соответствует формулам группы 1	Характеризует продолжительность подачи материального потока на входе в систему (подсистему, агрегат)
2. Выходной	$T_{вых}$ соответствует формулам группы 1	Характеризует продолжительность выдачи материального потока при выходе из системы (подсистемы, агрегата)

обработки. В седьмой группе представлена характеристика тактов после обработки их статистических значений различными методами, при этом среднее значение из интервального ряда оценок тактов должно быть не меньше, чем минимальное и не больше чем, максимальное. В восьмой группе рассматриваются такты, харак-

теризующие продолжительность частичных процессов и операций. В девятой группе такты выделены по месту привязки выбранных фиксажных точек (моментов начала и окончания такта) по входным и выходным параметрам материального потока системы (подсистемы, агрегата).

Ранее были разработаны тактовые модели, позволяющие оценить степень рациональности функционирования производственных процессов [6, 7], применение которых дает возможность решать задачи совершенствования ситуационного нормирования, планирования, прогнозирования и оперативного управления технологическими и трудовыми процессами. Наиболее сложной процедурой при построении нормативных моделей тактов является процесс нормирования длительности операций, циклов, тактов, их элементов и микроэлементов, а также установление нормативных коэффициентов использования каждого вида оборудования на основе комплексирования методов нормирования с учетом специфики конкретных объектов исследования, степени их механизации и автоматизации, последовательности и параллельности, непрерывности и периодичности, наблюдаемости, характера внешних и внутренних воздействий и других факторов. Не меньшее значение имеет установление рациональной напряженности норм и нормативов трудовых операций.

На стадии проектирования в процессе моделирования тактов работы оборудования в каждой подсистеме и в целом системы должны соблюдаться условия:

a – для непрерывного материального потока с жестко связанными (в технологическом отношении) подсистемами

$$T_{j=1}^{TB(H)} = T_{j=2}^{TB(H)} = \dots = T_{j=J}^{TB(H)} = T_{пс}^{TB(H)}, \text{ мин (ч);}$$

$$T_j^H = T_{j=J}^{TB(H)} : K_{иj};$$

б – для полунепрерывного материального потока

$$\left\{ T_{jвс}^{TB(H)} \right\}_{jвс=1}^J > T_{jo}^{TB(H)}, \text{ например, } T_{jo}^{TB(H)} = (1, 1 \div 1, 3) T_{jвс}^{TB(H)},$$

т.е. такты вспомогательных подсистем не должны сдерживать работу основной ведущей подсистемы.

Для действующих ПС на основе тактовых моделей формируется множество оценок тактов в зависимости от вида продукции, технологических режимов и маршрутов, количества функционирующего оборудования в каждой подсистеме и других факторов, определяется единый такт работы ПС:

$$T_{пс}^{TB(H)}(i) = \max \left\{ T_{jвс1}^{TB(H)}(i); T_{jвс2}^{TB(H)}(i); \dots; T_{jвсJ}^{TB(H)}(i); T_{jo}^{TB(H)}(i) \right\}.$$

При этом возможны следующие ситуации.

1. Наличие «узкого места» при функционировании ПС:

$$T_{пс}^{TB(H)}(i) = T_{jвс}^{TB(H)}(i); \left\{ T_{jвс}^{TB(H)}(i) \right\}_{jвс=1}^J > T_{jo}^{TB(H)}(i),$$

т.е. такт работы *j*-й вспомогательной подсистемы лимитирует (сдерживает) работу основной подсистемы. Для

ликвидации «узкого места» необходимо разработать организационно-технические мероприятия (модернизацию, реконструкцию), направленные на сокращение такта работы подсистемы, что позволит сократить такт работы всей системы.

2. Наличие «плавающего» «узкого места» в поточной системе, когда возникают следующие ситуации: технически возможный такт работы ПС соответствует одной из подсистем, а нормативный такт ПС – другой подсистеме, например

$$T_{пс}^{TB}(i) = T_{jвс1}^{TB}(i) \text{ или } T_{пс}^{TB}(i) = T_{jo}^{TB}(i), \quad T_{пс}^H(i) = T_{jвс2}^H(i).$$

В этих случаях необходимо выявить причины снижения коэффициента использования оборудования в *j*-й подсистеме, т.е. возникновения дополнительных задержек, пауз (скрытых простоев) и разработать организационные или организационно-технические мероприятия, направленные на устранение недостатков в оперативном управлении процессом, на повышение квалификационного уровня обслуживающего персонала, обеспечение надежности работы оборудования или на сокращение ручных операций.

3. Отсутствие «узкого места» в поточной системе:

$$T_{пс}^{TB(H)}(i) = T_{jo}^{TB(H)}(i), \left\{ T_{jвс}^{TB(H)}(i) \right\}_{jвс=1}^J < T_{jo}^{TB(H)}(i),$$

тогда такт работы ПС соответствует такту основной подсистемы, т.е. вспомогательные подсистемы не сдерживают ее работу.

В этом случае возможно рассматривать вариант модернизации основных агрегатов (оборудования) путем интенсификации технологического режима с целью сокращения такта работы ПС с учетом выполнения следующего ограничения:

$$\left\{ T_{jвс}^{TB(H)}(i) \right\}_{jвс=1}^J \leq T_{jo}^{TB(H)}(i).$$

Результаты реализации тактовой модели приведены на примере сортопрокатного цеха для профиля (швеллер) и представлены в табл. 2.

Сравнительный анализ технически возможных и нормативных значений тактов работы основного участка (прокатки) и вспомогательных участков (нагрева, охлаждения, порезки и пакетировки) показал, что «узким местом» в поточной системе является участок нагрева, который лимитирует работу ведущего участка прокатки. В связи с этим предложено осуществить модернизацию агрегатов на участке путем интенсификации процесса нагрева заготовок в методических печах, что даст возможность ликвидировать «узкое место» в горячем потоке металла, т.е. сократить такт работы системы, следовательно, увеличить производительность цеха и, как следствие, выпуск продукции, объем продаж, прибыль и рентабельность.

Выбор такта работы производственной системы для профиля швеллер

Table 2. Selecting the time step of operation of the production system for the beam profile

нагрева в печах		прокатки в клетки	Такты работы участков						Такт работы цеха (ПС)
одной	двух		охлаждения на секции холодильника		порезки на ножницах		пакетировки на линии		
			одной	двух	одних	двух	одной	двух	
<i>1. Технически возможные такты до модернизации, с</i>									
80	40	30	55	27,5	52	26	50	25	40,0
<i>Нормативные коэффициенты использования оборудования до модернизации</i>									
0,88		0,92	0,91		0,90		0,93		0,88
<i>2. Нормативные такты до модернизации, с</i>									
90,9	45,4	32,6	60,4	30,2	57,8	28,9	53,8	26,9	45,4
<i>3. Технически возможные такты после модернизации, с</i>									
56	28	30	55	27,5	52	26	50	25	30,0
<i>Нормативные коэффициенты использования оборудования после модернизации</i>									
0,90	0,92	0,91	0,90	0,93	0,92	–	–	–	0,91
<i>4. Нормативные такты после модернизации, с</i>									
62,2	31,1	32,6	60,4	30,2	57,8	28,9	53,8	26,9	32,6

Разработанная нормативная тактовая модель сорто-прокатного цеха позволила сформировать нормативную базу технико-экономических показателей, необходимых для планирования, прогнозирования и оперативного управления производством.

В соответствии с изменяющейся структурой тактов (по группам и признакам) и полученных их значений с учетом сортамента изменяется также и производительность ПС. Реализация тактового подхода изложена в работах [8, 9] и др. на основе построения нормативных ситуационно-тактовых моделей для оценивания производительности ПС в подразделениях металлургических предприятий (сталеплавильном, прокатном, метизном).

Выводы. Рассмотрен показатель «производительность» как индикатор эффективности функционирования человеко-технического комплекса. Показаны взаимосвязи производительности с другими технико-экономическими показателями ПС. Разработан тактовый подход к оцениванию производительности ПС. Предложена классификация и структурные модели тактов, позволяющие определять ситуационные такты подсистем и выбрать единый такт работы системы с целью обоснования производительности ПС (нормативной,

плановой или прогнозной) для принятия рациональных управленческих решений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Šnapka P., Mikušová M., Janovská K., Samolejová A. Simulation model of metallurgical production management. *Metalurgija*. 52 (2013) 2, pp. 429–431.
2. Медиков В.Я. Производственные мощности и их использование. – М.: МГУП, 2002. – 264 с.
3. Организация и планирование предприятий черной металлургии: Учебник / А.Ф. Метс, К.А. Штец, Б.П. Бельгольский, Ф.И. Щепилов. – М.: Металлургия, 1986. – 560 с.
4. Сероватин А.И. Расчет производительности оборудования прокатных цехов. – М.: Металлургия, 1970. – 96 с.
5. Dušan Malindžak, Andrzej Gazda. The principles and specifics of logistics of metallurgical production // *Metal*. 2011. № 5. pp. 18 – 20.
6. Radim Lenort, Jezy Feliks. Production logistics concepts and systems in metallurgical companies // *Metal*. 2013. № 5. pp. 15 – 17.
7. Musatova A.I., Kulakov S.M., Kadykov V.N. Operating Cycles of Automated Production Systems // *Steel in translation*. 2003. Vol. 41, no. 4, pp. 294 – 300.
8. Кадьков В.Н., Кулаков С.М., Мусатова А.И. Алгоритмизация оценивания ситуационных тактов работы прокатного комплекса // *Изв. вуз. Черная металлургия*. 2011. № 8. С. 61 – 69.
9. Мусатова А.И., Кулаков С.М. Особенности построения нормативной модели производительности волочильных станов // *Научное обозрение*. 2014. № 3. С. 139 – 149.

Поступила 29 декабря 2014 г.

APPLICATION OF THE TIMING MODEL IN REENGINEERING OF THE PRODUCTION SYSTEMS IN METALLURGY

Kulakov S.M., *Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Chair “Automation and Information Systems”*

Musatova A.I., *Assist. Professor of the Chair of corporate economics and personnel management*

(musatova-ai@yandex.ru)

Kadykov V.N., *Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor of the Chair “Metal Forming and Metal Science”, OJSC “EVRAZ ZSMK”*

Baranov P.P., *Dr. Sci. (Economics), Assist. Professor, Director of the Institute of Economics and Management*

Siberian State Industrial University (42, Kirova str., Novokuznetsk, Kemerovo Region, 654007, Russia)

Abstract. The problem of creation of the timing model for difficult production systems and their application in reengineering of ferrous metallurgical enterprises are considered. The classification of timing models was carried out by their appointment, scale of the research object, degree of continuity of a material stream, quantity of simultaneously processed semi-products, number of production operations, importance of the equipment, statistical characteristics of a time step, extent of mechanization and automation of the equipment, by an entrance and an exit of a material stream. The leading role of the indicator “productivity” and its connection with other technical and economic indicators of a production system was shown. The factorial model of system capacity is given and the fundamental factor, namely a time step of system, is allocated. The basic formula for the estimation of productivity was offered on the basis of a time step. The technique of identification of “bottlenecks” of a production system on the basis of a timing approach and an assessment of actions efficiency of reengineering is shown. The example of the application of timing models for the analysis of “bottlenecks” in rolling production is given. Possibility of timing models application is noted for planning, forecasting and operational management of production.

Keywords: productivity, production system, engineering-and-economic performance, correlation, classification, timing model, “bottleneck” of continuous flow system, normative base.

DOI: 10.15825/0368-0797-2015-5-367-375

REFERENCES

1. Šnapka P., Mikušová M., Janovská K., Samolejová A. Simulation model of metallurgical production management. *Metallurgija*. 52 (2013) 2, pp. 429–431.
2. Medikov V.Ya. *Proizvodstvennye moshchnosti i ikh ispol'zovanie* [Production capacity and its usage]. Moscow: MGUP, 2002. 264 p. (In Russ.).
3. Mets A.F., Shtets K.A., Bel'gol'skii B.P., Shchepilov F.I. *Organizatsiya i planirovanie predpriyatii chernoi metallurgii: Uchebnik* [Arrangement and planning of ferrous metallurgy enterprises: Textbook]. Moscow: Metallurgiya, 1986. 560 p. (In Russ.).
4. Serovatin A.I. *Raschet proizvoditel'nosti oborudovaniya prokatnykh tsekhov* [Equipment performance calculations of rolling-mill shops]. Moscow: Metallurgiya, 1970. 96 p. (In Russ.).
5. Dušan Malindžak, Andrzej Gazda. The principles and specifics of logistics of metallurgical production. *Metal*. 2011, no. 5, pp. 18–20.
6. Radim Lenort, Jezy Feliks. Production logistics concepts and systems in metallurgical companies. *Metal*. 2013, no. 5, pp. 15–17.
7. Musatova A.I., Kulakov S.M., Kadykov V.N. Operating Cycles of Automated Production Systems. *Steel in translation*. 2003. Vol. 41, no. 4, pp. 294–300.
8. Kadykov V.N., Kulakov S.M., Musatova A.I. Algorithmization of estimation of situational time steps of a rolling complex. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2011, no. 8, pp. 61–69. (In Russ.).
9. Musatova A.I., Kulakov S.M. Construction peculiarities of a normative performance model of draw benches. *Nauchnoe obozrenie*. 2014, no. 3. pp. 139–149. (In Russ.).

Received December 29, 2014