

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВ ПРИ УСЛОВИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОСТИ ВЫПУСКА ПРОДУКЦИИ

А.А. Серёгин

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, Россия

Разработана методология проектирования производственных участков, использующая гибкий график ремонта оборудования, который позволяет исключить остановку основного производства. Проект участка может включать в себя три основных пункта:

1. Комплектацию оборудованием производственных участков по минимуму эксплуатационных затрат на содержание технологического оборудования.
2. Комплектация участков станками и технологической оснасткой при условии согласования сроков их ремонта.
3. Комплектация на основе сетевой структурной модели стадии «эксплуатация» парка станков, составляющих участок.

Первый пункт направлен на повышение рентабельности использования оборудования по назначению. Второй и третий на обеспечение непрерывности производственного процесса. Их реализация позволяет исключить остановку производства и уменьшить простой оборудования в ремонте.

Приведён алгоритм априорной оценки продолжительности и структуры ремонтного цикла станков и оснастки производственных подразделений, выпускающих продукцию ограниченной номенклатуры.

Даны основы построения структурных моделей стадии «эксплуатация» парка станков отдельного производственного подразделения. Использование оборудования по разработанным структурам позволяет обеспечить технологическую точность, настроенность, стабильность технологических процессов и непрерывность производственного процесса изготовления деталей.

Ключевые слова: комплектация производственных участков технологическим оборудованием, ремонтный цикл, рентабельная эксплуатация технологического оборудования, сетевые структурные модели стадии «эксплуатация» станочного парка, точность и стабильность технологических процессов.

Производственная проблема. При проектировании производственных участков большое внимание уделяют организации технического обслуживания (ТО) станков [1–4], а также его диагностике [5] и модернизации [6]. Однако ни в рассмотренной литературе, ни в примерах производственного опыта нет решения вопроса о сохранении выпуска продукции в периоды ремонта технологического оборудования. Если использовать известные методы организации ремонта [7, 8], то к вышесказанному необходимо добавить отсутствие согласования сроков ремонта: а) станков одной группы и типа внутри участка; б) станков и их технологических приспособлений. Это ведёт к увеличению затрат на содержание оборудования, снижению стабильности технологических процессов, реализуемых на нём.

Полвека назад было отмечено, что станки, отремонтированные эксплуатирующей организацией в условиях единичного производства, имеют низкие показатели по стабильности технологических процессов [9]. При этом показатели технологической точности соответствовали требованиям. Прошел большой промежуток времени, но вопрос по повышению стабильности процесса механической обработки так и не решен. Снижение показателей стабильности затрудняет работу операторов станков, что увеличивает процент брака выше допустимого.

Обеспечение стабильности технико-экономических характеристик оборудования в рентабельном режиме возможно только при проведении ремонта в периоды, соответствующие моментам увеличения потока отказов. Именно поэтому построение структуры стадии «эксплуатация» как парка станков участка, так и отдельно взятого станка является актуальным. Актуальность обоснована тем, что основную часть структуры составляет макроэтап «ремонтный цикл», начало этапов которого должно предшествовать потоку отказов. Такой подход к решению проблемы непрерывности производства продукции назовём упреждающим управлением технологическим оборудованием. Это управление носит административный характер и является частью системы менеджмента качества.

Цель исследования: создание рабочего проекта организационно-технических мероприятий по рациональной эксплуатации технологического оборудования производственных подразделений.

Эксплуатация станков начинается с их установки и монтажа на заводских участках.

1. Комплектация оборудованием производственных участков по минимуму эксплуатационных затрат. Рациональный подбор технологического оборудования для производственных участков основан на методах линейного программирования следующего вида. Определим $Y = Y^*$, так, чтобы $V(Y) \rightarrow \min$, при действующем ограничении $q_i(Y) \leq 0, i = 1, 2 \dots m$, где $Y_L \leq Y \leq Y_G$. Имеем Y^* это матрица, определяющая направление оптимального решения, содержит компоненты оптимальных значений окончательных вариантов комплектации участка; $V(Y)$ – заданный функционал; $Y_L; Y_G$ – набор входных ограничений.

На производстве практически невозможно реализовать матрицу оптимального решения. Здесь необходимо выбирать из набора возможных решений Y^V наиболее соответствующее оптимальному, а в систему ограничений q_i вводят специальную весовую функцию Q_j . Тогда теоретическую часть задачи по комплектации можно сформулировать следующим образом. Найти $Y = Y^V$, при условии, что $|Y^V - Y^*| \rightarrow \min, q_i(Q_j Y_j) \leq 0, i = 1, 2 \dots m$, при всех Y в интервале $Y^V - d \leq Y \leq Y^V + D, Y_L \leq Y \leq Y_G$, где d, D – отклонения расчётных значений в сторону уменьшения, либо увеличения. Основным методом решения задач линейного программирования является аналитический метод. Этот метод предполагает использование только ограничений-равенств, которые преобразуют за счёт вспомогательных переменных Ω^h . В первом приближении метод может быть реализован в виде системы уравнений (1).

При комплектации оборудованием и станочной оснасткой вновь создающихся производственных подразделений обоснованием для подбора станков, как с первичного, так и с вторичного рынка является нахождение оптимума двух функционалов [10, 11]:

$$\left. \begin{aligned} Z &= \sum_{i=1}^n \tau_i T_i^{-1} \\ W &= \sum_{j=1}^m k_j \omega R_j \end{aligned} \right\} \longrightarrow \min \quad (1)$$

где τ_i – трудоёмкость ремонта станка или оснастки; T_i – прогнозируемая длительность эксплуатации производственного участка; k_j – коэффициент снижения ресурса станка или приспособления; ω – затраты предприятия на ремонт узла с группой ремонтной сложности, равной единице; R_j – группа ремонтной сложности станка или оснастки; n – количество станков и приспособлений на комплектуемом участке; m – количество станков и приспособлений, планируемых к ремонту за время эксплуатации участка.

Решение системы (1) реализуют при условии ограничений:

$$h\varepsilon(\tau_1 + \dots + \tau_i + \dots + \tau_n) \leq Y_G,$$

$$\omega(Q_1 C_1 k_1 R_1 + \dots + Q_j C_j k_j R_j + \dots + Q_m C_m k_m R_m) \leq Y_L,$$

где h – часовая тарифная ставка; ε – коэффициент выполнения норм; Q_j – дискретная весовая функция (назначается экспертами: экономистом и механиком предприятия); C_j – коэффициент, характеризующий вид производимого ремонта: внеплановый (аварийный), осмотр (О), текущий (Т), средний (СР) или капитальный (КР). Для ТО тяжёлых станков предлагается ввести малый ремонт (М), который по трудоёмкости находится между Т и СР.

Ограничивающие параметры функционалов:

$$Y_G = NF_Z; Y_L = NF_R.$$

Здесь N – время работы участка (год); F_Z – годовой фонд заработной платы рабочих-ремонтников; F_R – годовой фонд денежных средств, выделенный на ремонт станков.

При расчёте на длительную перспективу работы участка, компоненты системы функционалов (1) и их ограничений составляют исходя из годовых затрат предприятия. Минимум ремонтных потерь и затрат определяют на текущий (либо следующий) год. Решение системы функционалов (1) производят на основе известных методик [12–14].

Значение Z -функционала соответствует сумме ремонтных потерь. Величина W -функционала – это заводские затраты на содержание станков и приспособлений. Ограничением Z и W функционалов является заводской фонд средств, выделенных на ремонт и содержание технологического оборудования. Если их значение выходит за рамки ограничений, тогда производят пересчёт системы (1) с изменением коэффициентов Q_j и C_j . После определения оптимума прогнозируют структуру ремонтного цикла станков и оснастки.

2. Комплектация участков станками и технологической оснасткой при условии их совместного ремонта. Рентабельная эксплуатация технологического оборудования возможна лишь при согласовании сроков ремонта станков и оснастки [15]. Установление сроков считаем правильным, если максимум отказов совпадает с периодами ремонтного цикла. Априорная оценка продолжительности и структуры ремонтного цикла – сложная инженерная задача. Её решение базируется на концептуальном подходе, в основу которого положены три основных постулата:

1. В основной период эксплуатации изменения технологической точности и стабильности имеют линейную зависимость от времени (если исключить периоды приработки и катастрофического износа деталей станков).

2. Потеря во времени основных технологических показателей станков и оснастки происходит пропорционально загруженности оборудования.

3. Чем больше узлов и ответственных деталей задействовано в процессе формообразования, тем меньше периодов восстановления в ремонтном цикле, так как в этом случае большинство деталей будут ремонтировать совместно.

Первый постулат может быть распространён на все типы производств. Второй и третий только на станки, производящие детали одного типоразмера. Это, как правило, специализированные и специальные станки, либо универсальные станки с установленными на них специальными приспособлениями.

Алгоритм расчёта ремонтного цикла содержит семь основных шагов (рис. 1). Основными исходными данными для прогнозирования интервалов потока отказов являются обрабатываемые поверхности детали и компоновка станка. Движения формообразования отражают в компоновочной формуле. Затем назначают количество межремонтных периодов и определяют структуру ремонтного цикла. Составление структуры и расчёт продолжительности ремонтного цикла начинают с анализа условий эксплуатации станка. Определяют коэффициент загруженности оборудования по следующим параметрам:

- 1) K_L – габаритам рабочего пространства;
- 2) K_G – весу заготовок;
- 3) K_N – мощности;
- 4) K_M – крутящим моментам.

Следствием недоиспользования станка по пунктам 2, 3, 4 является снижение износа передач и направляющих. Недоиспользование станка по пункту 1 вызывает увеличение износа направляющих, так как место износа локализуется. Поэтому при определении межремонтных периодов в случае недоиспользования станка по пунктам 2, 3, 4 применяют повышающий коэффициент K_G (K_N, K_M) > 1 , в случае по пункту 1 – понижающий $K_L < 1$. Таким образом, имеем увеличение или уменьшение длительности межремонтного периода. Коэффициенты зависят от условий использования станка по параметрам.

Продолжительность оперативного времени ремонтного цикла (часы, отработанные оборудованием), исключая время на ТО или ремонт, определяют из операторного уравнения [16]:

$$T_j^i = \Omega_j \cdot V^i \tau_j^i, \quad (2)$$

где T_j^i – продолжительность рассматриваемого промежутка стадии «эксплуатация» для j -го станка на i -й операции; Ω_j – оператор снижения ресурса j -го станка, зависит от вероятности безотказной работы; V^i – вариационный оператор; τ_j^i – средняя (расчётная) продолжительность ремонтного цикла j -го станка, задействованного на i -й операции.

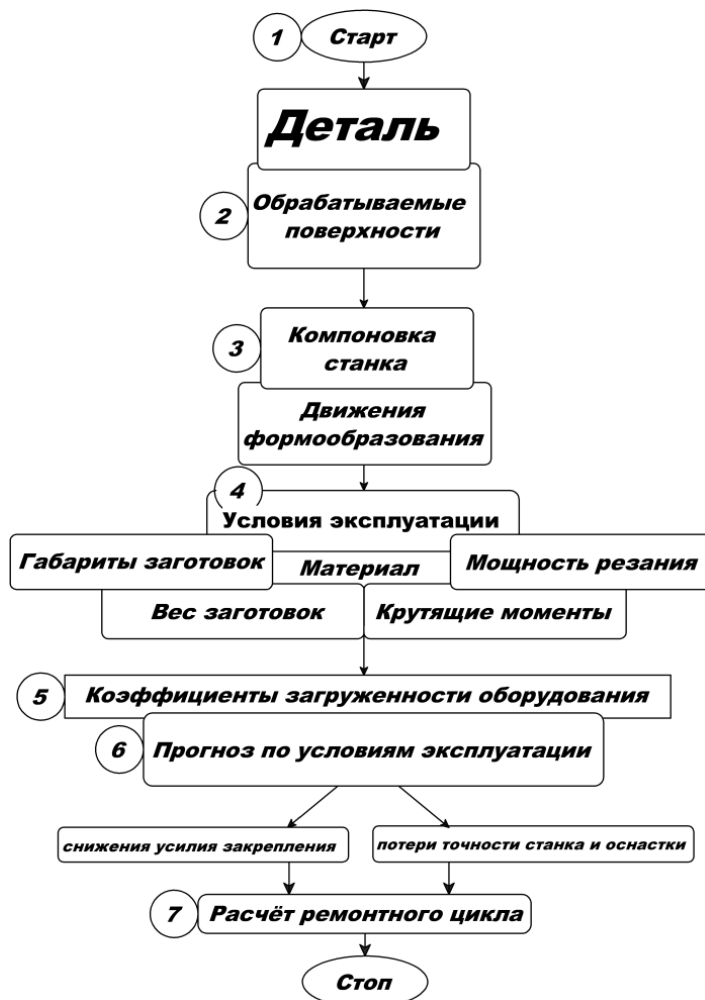


Рис. 1. Последовательность расчёта ремонтного цикла технологического оборудования

В формуле (2) происходит суммирование по индексам, она позволяет произвести расчёт продолжительности этапов стадии «эксплуатация», и, в частном случае, она имеет вид:

$$T_{РЦ} = K \cdot K_G \cdot K_N \cdot K_M \cdot K_L \cdot C_T \cdot (1 \pm V_X), \quad (3)$$

где K – поправочный коэффициент, зависит от K_G ; K_N ; K_M и K_L , а также материала заготовок и инструмента; C_T – значение оперативного времени работы технологического оборудования до момента снижения технологической точности, при этом восстановление точности возможно только ремонтом базовых деталей; V_X – коэффициент вариации сроков ремонта с сохранением вероятности безотказной работы технологического оборудования. Знак (–) в уравнении (3) берут при необходимости резервирования по параметру «непрерывность производственного процесса», а (+) позволяет максимально использовать ресурс оборудования, но, в этом случае, уменьшается вероятность безотказной работы.

Продолжительность произвольного X -го этапа использования оборудования по назначению (И), рассчитывают согласно уравнению:

$$T_{MPX} = Rr_X \cdot T_{PЦ} \left(\sum_{X=1}^N X \right)^{-1}, \quad (4)$$

где Rr_X – коэффициент снижения ресурса оборудования в течение X -го этапа; N – количество этапов И в ремонтном цикле, определяют на основе постулата 3, а также регрессионных уравнений потери точности, трудоёмкости ремонта и вероятности безотказной работы.

Результаты расчёта уравнений (2), (3) и (4) являются априорной оценкой (прогнозом) продолжительности ремонтного цикла. По результатам прогноза строят структуру ремонтного цикла. При выборе структуры параллельно проектируют структуру ремонтов станочного приспособления (рис. 2). При несовпадении времени межремонтных периодов станка и оснастки, время ремонта оснастки совмещают с началом ремонтов станка. Ремонт станка и оснастки осуществляют совместно.



Рис. 2. Планирование совместного ремонтного цикла станков и приспособлений

После построения структур ремонтного цикла переходят к разработке структуры стадии «эксплуатация», которая содержит этап И. Продолжительность И зависит от Rr_X . На рис. 3 дан пример структур стадии «эксплуатация» станков токарной, расточной и шлифовальной групп в зависимости от формулы компоновки станка. Компоновочные формулы составлены согласно методике [17]. На рис. 3 обозначено: слева – римской цифрой I – формула компоновки станка $C_h OZ X b W d$; II – $C_h O(U W e + X Z b)$; III – $(w + r) v C_h O \{ Z_1 X_1 e + Z_2 X_2 (d_1 + d_2) + Z_3 X_3 b \}$; IV – $(r_1 W_1 C_1 + r_2 W_2 C_2) h O (Z_1^3 X_1^3 b_1 + Z_2^3 X_2^3 b_2)$; V – $O X Y W (D_h U + Z / C_h)$; VI – $b X W O Y (D_h U + Z / C_h)$. В правой части по стрелке – структурные формулы стадии эксплуатация (ПН – пуско-наладочные работы). Индекс ПР означает, что в данный этап проводят ремонт станочного приспособления.

I	→ ПН-Рr ₁ И _A -О-Рr ₂ И-Т-ПР-Рr ₃ И-О-Рr ₄ И-Т-Рr ₅ И-О-ПР-Рr ₆ И-СР-Рr ₇ И-О-Рr ₈ И-Т-ПР-Рr ₉ И-О-Рr ₁₀ И-Т-Рr ₁₁ И-О-ПР-Рr ₁₂ И-КР
II	→ ПН-Рr ₁ И _A -О-Рr ₂ И-Т-Рr ₃ И-О-ПР-Рr ₄ И-Т-Рr ₅ И-О-Рr ₆ И-СР-ПР-Рr ₇ И-О-Рr ₈ И-Т-Рr ₉ И-О-ПР-Рr ₁₀ И-Т-Рr ₁₁ И-О-Рr ₁₂ И-КР
III	→ ПН-Рr ₁ И _A -О-Рr ₂ И-Т-Рr ₃ И-О-ПР-Рr ₄ И-Т-Рr ₅ И-О-ПР-Рr ₆ И-СР-Рr ₇ И-О-Рr ₈ И-Т-Рr ₉ И-О-ПР-Рr ₁₀ И-Т-Рr ₁₁ И-О-Рr ₁₂ И-КР
IV	→ ПН-Рr ₁ И _A -О-Рr ₂ И-Т-Рr ₃ И-О-ПР-Рr ₄ И-Т-Рr ₅ И-О-Рr ₆ И-СР-Рr ₇ И-О-ПР-Рr ₈ И-Т-Рr ₉ И-Т-Рr ₁₁ И-О-ПР-Рr ₁₂ И-КР
V, VI	→ ПН-Рr ₁ И _A -Т-Рr ₂ И-Т-Рr ₃ И-О-Рr ₄ И-О-Рr ₅ И-О-ПР-Рr ₆ И-СР-Рr ₇ И-О-Рr ₈ И-М-Рr ₉ И-М-Рr ₁₀ И-О-Рr ₁₁ И-М-ПР-Рr ₁₂ И-М-Рr ₁₃ И-О-Рr ₁₄ И-Т-Рr ₁₅ И-Т-Рr ₁₆ И-М-Рr ₁₇ И-О-ПР-Рr ₁₈ И-КР

Рис. 3. Структуры ремонтного цикла станков, полученные при апробации разработанных алгоритмов

3. Комплектация участков на основе сетевых структурных моделей стадии «эксплуатация». Основной задачей при разработке графика ТО крупных и тяжёлых станков является назначение сроков ремонта, обеспечивающих непрерывность производственного процесса. Решение этой задачи осложнено тем, что из-за проведения ремонтных работ различные партии деталей проходят обработку на станках в различной последовательности. Необходимо учитывать, что срок этапа И представляет собой непрерывную вероятностную величину, а количество крупных и тяжёлых станков на большинстве предприятий измеряется одной либо двумя единицами.

Основную задачу сформулируем следующим образом: на участке имеется количество n станков, ремонтируемых через T_{MPX} промежутки времени в количестве m штук. Необходимо построить общую сетевую структурную модель стадии «эксплуатация» оборудования участка, которая могла бы обеспечить технологическую точность, настроенность, стабильность технологических процессов и непрерывность производственного процесса изготовления деталей.

Для совместного решения поставленных вопросов рассмотрим графическую модель работы крупных и тяжёлых станков. Для этого представим структуру стадии «эксплуатация» в виде временного графа с параллельными рядами (рис. 4). Вершинами графа служат моменты начала и окончания O , T , CP , KP . С позиции теории [18–21] построенный граф представляет собой сетевую модель. Данная модель предназначена для применения как в пределах участка, цеха, или завода, так и для объединённых в холдинг предприятий. Это особенно актуально на момент ремонта крупных или тяжёлых станков, имеющих на предприятии в единичном экземпляре. Участок сети «Объединение разных заводов» предполагает перенос производства на время ремонта на станки предприятия-смежника с последующей реализацией обратной схемы.

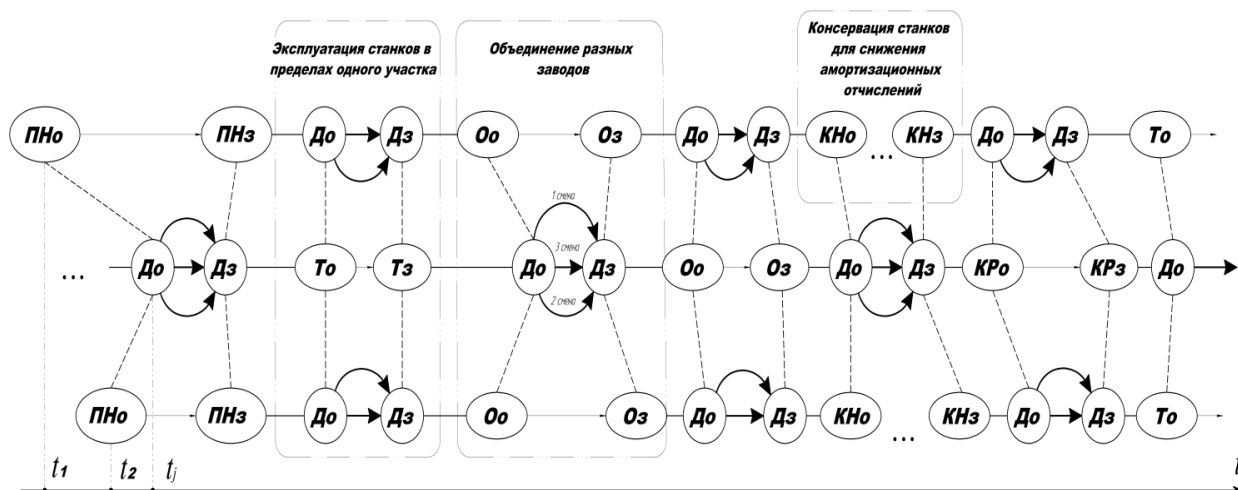


Рис. 4. Сетевая структурная модель стадии «эксплуатация» станочного парка заводского участка

На рис. 4 обозначено: t – ось времени; $До$, $Дз$ – соответственно начало и окончание дополнительной загрузки станка, вызванной ремонтом смежных станков; $ПHo$, $ПHз$ – начало и завершение пусконаладочных работ; Oo , Oz – начало и завершение осмотра; To , $Tз$ – начало и завершение текущего ремонта; KHo , $KHз$ – начало и завершение консервации станка; KPo , $KPз$ – начало и завершение капитального ремонта. Дуги графа с крупной стрелкой обозначают производство изделий, с тонкой стрелкой – ремонт станков. Рёбра, показанные штриховой линией – передача производства; сплошные – передача станка в ремонт или на длительное хранение (консервацию).

Максимально возможное число смен работы оборудования равно трём. Следовательно, число рядов в сетевом графике должно быть кратно трём. Каждый параллельный ряд графа вариантов общей сетевой структурной модели стадии «эксплуатация» производственного участка представляет собой не что иное, как структурную модель стадии «эксплуатация» отдельно взятого станка (см. рис. 3). Используя полученную графическую модель (см. рис. 4), вычисляем длину маршрута как сумму проекций на ось времени t . Указанная сумма пропорциональна производительности станков проектируемого производственного участка.

4. Организация ремонта оборудования. Административное управление технологическим оборудованием базируется на периодической (либо непрерывной) оценке состояния станков и приспособлений за счёт проверки одного из технологических показателей. Периодическую идентификацию состояния технологической системы производят после регистрации снижения производительности. Производительность является комплексным технологическим показателем станков. Она выступает как оценка максимально возможных режимов резания, при которых станок обеспечивает точность геометрических размеров и, одновременно, качество поверхности образца-изделия (при условии применения неизношенного инструмента). Ремонтные воздействия осуществляют при снижении производительности [10]. При этом перечень ремонтируемых узлов станка определяют по результатам его проверки на технологическую точность на основе результатов параметрической идентификации. Производительность выбрана в качестве основного показателя ещё и потому, что это наиболее отслеживаемый и контролируемый показатель в заводских условиях.

5. Результаты апробации разработанной системы эксплуатации. Эффективность предлагаемой модели управления технологическим оборудованием оценивали по значениям коэффициентов точности, стабильности и настроенности технологических процессов, реализуемых на отремонтированных станках. Расчёт коэффициентов стабильности производили согласно рекомендациям Р 50-601-20-91. Все данные были получены в условиях действующего производства.

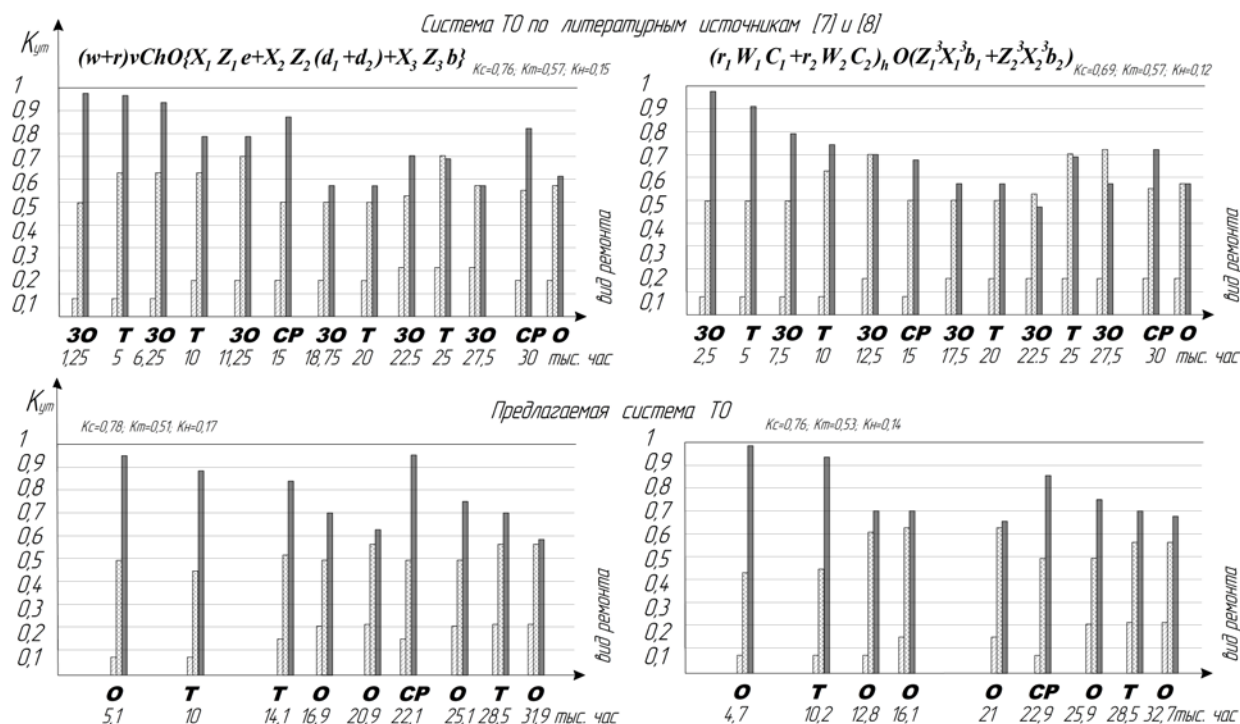


Рис. 5. Коэффициенты точности, стабильности и настроенности технологических процессов, реализуемых на колёсотокарных станках

На рис. 5 обозначено: $K_{УТ}$ – коэффициенты уточнения (общее название для K_T , K_C , K_H), диаграммы серого цвета – характеризуют коэффициент стабильности технологических процессов K_C , заштрихованные в косую клетку – точности K_T , косую штриховку – настроенности K_H . На верхних диаграммах приведены коэффициенты точности, получаемые после ремонта оборудования, проводимого по известным системам [7, 8] (3O – три осмотра в течение отчётного промежутка времени). На нижних – по административной системе упреждающего управления. Вверху рисунка, под формулами компоновки, даны средние значения коэффициентов за рассматриваемый период времени (до 40 тыс. часов).

Как видно из представленных на рис. 5 материалов, за один и тот же промежуток времени в предлагаемой системе ТО и ремонта производят меньшее количество ремонтных воздействий, нежели в известных системах [7, 8]. Поскольку трудоёмкость проведения любого вида ремонта зависит только от категории ремонтной сложности станка, то уменьшение количества ремонтов – это уменьшение затрат на эксплуатацию станка и сокращение времени простоя оборудования. Одновременно доказано, что по средним значениям коэффициентов $K_{УТ}$, предлагаемая система управления оборудованием является более предпочтительной, чем известные.

Выводы

1. Разработаны теоретические основы комплектации производственных подразделений технологическим оборудованием, при условии его рентабельной эксплуатации.
2. Впервые структура стадии «эксплуатация» рассматривается для производственного подразделения, состоящего из нескольких станков одной группы и типа. Применение этой структуры, согласованной по срокам, позволяет исключить остановку производства на время ремонта оборудования.
3. Административное управление оборудованием по предлагаемой системе эксплуатации

обеспечивает повышение точности и стабильности технологических процессов при сокращении числа проводимых ремонтов.

Применение результатов исследования. Материалы работы использованы при разработке стандарта предприятия СТО СМК 014-6.3-2006 «Управление оборудованием» Оренбургского локомотиворемонтного завода. Стандарт включён в заводскую систему менеджмента качества. За прошедший десятилетний период на предприятии было сертифицировано производство. За счёт проведенных мероприятий завод готов к освоению продукции с повышенными требованиями к качеству ремонта деталей подвижного состава.

Литература

1. Вороненко, В.П. Проектирование машиностроительного производства: учеб. для вузов / В.П. Вороненко, Ю.М. Соломенцев, А.Г. Схиртладзе. – М.: Дрофа, 2007. – 348 с.
2. Мельников, Г.Н. Проектирование механосборочных цехов: учебник для машиностроительных специальностей вузов / Г.Н. Мельников, В.П. Вороненко; под ред. А.М. Дальского. – М.: Машиностроение, 1990. – 350 с.
3. Chen, M.C. Design of manufacturing systems by a hybrid approach with neural network meta-modelling and stochastic local search / M.C. Chen, T. Yang // *International Journal of Production Research*. – 2002. – Vol. 40, No. 1. – P. 71–92. DOI: 10.1080/00207540110073055
4. Rao, H.A. Design methodology and integrated approach for design of manufacturing systems / H.A. Rao, P. Gu // *Integrated Manufacturing Systems*. – 1997. – Vol. 8, no. 3. – P. 159–172. DOI: 10.1108/09576069710181974
5. Manufacturing system design with optimal diagnosability / J.P. Liu, Z.B. Luo, L.K. Chu, Y.L. Chen // *International Journal of Production Research*. – 2004. – Vol. 42, no. 9. – P. 1695–1714. DOI: 10.1080/00207540310001645147
6. The design architecture and implementation of an integrated manufacturing system / S.H. Choi, J.S.L. Lee, T.N. Wong, Y.X. Dai // *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. – 1997. – Vol. 10, no. 1–4. – P. 232–244. DOI: 10.1080/095119297131336
7. Единая система плано-предупредительного ремонта и рациональной эксплуатации технологического оборудования машиностроительных предприятий / под ред. М.О. Якобсона. – М.: Машиностроение, 1967. – 592 с.
8. Типовая система технического обслуживания и ремонта металло- и деревообрабатывающего оборудования / под. ред. В.И. Клягина и Ф.С. Сабирова. – М.: Машиностроение, 1988. – 672 с.
9. Кутай, А.К. Технологическая точность станков и оценка качества их ремонта / А.К. Кутай, Р.С. Кайрук // *Станки и инструмент*. – 1969. – № 7. – С. 12–14.
10. Серегин, А.А. Анализ и синтез модели управления оборудованием производств с ограниченной номенклатурой продукции / А.А. Серегин // *Вестник Оренбург. гос. ун-та* – 2012. – № 1. – С. 200–206.
11. Серегин, А.А. Управление эксплуатацией станков и приспособлений / А.А. Серегин // *Технология машиностроения*. – 2011. – № 9. – С. 38–40.
12. Local Fourier Analysis of Multigrid Methods with Polynomial Smoothers and Aggressive Coarsening / J. Brannick, X. Hu, C. Rodrigo, L. Zikatanov // *Journal: Numerical Mathematics: Theory, Methods and Applications*. – 2015. – Vol. 8, no. 3. – P. 1–21. DOI: 10.4208/nmtma.2015.w01si
13. Bai, Z.-J. Superoptimal Preconditioners for Functions of Matrices / Zheng-Jian Bai, Xiao-Qing Jin, Teng-Teng Yao // *Numerical Mathematics: Theory, Methods and Applications*. – 2015. – Vol. 8, no. 10. – P. 515–529. DOI: 10.4208/nmtma.2015.my1340
14. Haber, E. A Multilevel Method for the Solution of Time Dependent Optimal Transport / E. Haber, R. Horesh // *Numerical Mathematics: Theory, Methods and Applications*. – 2015. – Vol. 8, no. 3. – P. 97–111. DOI: 10.4208/nmtma.2015.w02si
15. Серегин, А.А. Согласованный ремонт станка и приспособления / А.А. Серегин, А.А. Шатилов // *Ремонт, восстановление, модернизация*. – 2006. – № 1. – С. 26–28.
16. Серегин, А.А. К вопросу о реновации тяжелых станков и средств их технологического оснащения / А.А. Серегин, А.А. Шатилов // *Труды ГОСНИТИ*. – М., 2013. – Т. 113. – С. 75–85.

17. Врагов, Ю.Д. Анализ компоновок металлорежущих станков. Основы компонентики / Ю.Д. Врагов. – М.: Машиностроение, 1978. – 208 с.

18. Hardgrave, W.W. Geometric Model and Graphical Algorithm for f Sequencing Problem / W.W. Hardgrave, G.L. Nomhauser // *Operations Research*. – 1963. – Vol. 11, iss. 6.

19. Königseder, C. Improving design grammar development and application through network-based analysis of transition graphs / C. Königseder, T. Stanković, K. Shea // *Design Science*. – 2016. – Vol. 2. DOI: 10.1017/dsj.2016.5

20. Modeling customer preferences using multidimensional network analysis in engineering design / M. Wang, W. Chen, Y. Huang et al. // *Design Science*. – 2016. – Vol. 2. DOI: 10.1017/dsj.2016.11

21. Selected Recent Applications of Sparse Grids / B. Peherstorfer, Ch. Kowitz, D. Pflüger, H.-J. Bungartz // *Numerical Mathematics: Theory, Methods and Applications*. – 2015. – Vol. 8, no. 3. – P. 47–77. DOI: 10.4208/nmtma.2015.w05si

Серёгин Андрей Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения, металлообрабатывающие станки и комплексы», Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, aasdom@yandex.ru.

Поступила в редакцию 11 января 2018 г.

DOI: 10.14529/engin180105

THE SOLUTION TO THE PROBLEM OF DESIGNING WORKSHOPS WHILE ENSURING THE CONTINUITY OF PRODUCTION

A.A. Seregin, aasdom@yandex.ru

Orenburg State University, Orenburg, Russian Federation

The developed methodology of designing production sites that use a flexible schedule repair of equipment, which allows you to avoid stopping the main production. The project area can include three main points:

1. The composition of the machines in production shops with low operating cost for maintenance of technological equipment.
2. Operation of machines and devices in the workshops with their simultaneous repair.
3. The joint use of the machines plant with sequential shutdown for repair.

The first aimed at increase of profitability of use of the equipment for the purpose. The second and third to ensure the continuity of the production process. Their implementation allows to exclude suspension of production and reduce downtime repair.

The algorithm a priori estimates of the length and structure of the repair cycle of machine tools and tooling production units, producing a limited item.

The principles of construction of structural models the stage of “exploitation” machines of the individual production units. The use of equipment according to the developed structure allows us to provide technological precision, process stability and continuity of the production process of manufacturing parts.

Keywords: complete production areas technological equipment, repair cycle, cost-effective operation of technological equipment, network structural models the stage of “exploitation” of machinery, precision and process stability.

References

1. Voronenko V.P., Solomentsev Y.M., Skhirtladze A.G. *Proektirovanie mashinostroitelnogo proizvodstva: uchebnik dlya vuzov* [Design of Machine-Building Production: the Textbook for High Schools]. Moscow, Drofa, 2007. 348 p.

2. Mel'nikov G.N., Voronenko V.P. *Proektirovanie mekhanosborochnykh tsekhov: uchebnik dlya mashinostroitel'nykh spetsial'nostey vuzov* [Design of Mechanical Assembly Shops: Textbook for Machine-Building Specialties of Higher Education Institutions]. Moscow, Mashinostroenie, 1990. 350 p.
3. Chen M.C., Yang T. Design of Manufacturing Systems by a Hybrid Approach with Neural Network Metamodelling and Stochastic Local Search. *International Journal of Production Research*, 2002, vol. 40, no. 1, pp. 71–92. DOI: 10.1080/00207540110073055
4. Rao H.A., Gu P. Design Methodology and Integrated Approach for Design of Manufacturing Systems. *Integrated Manufacturing Systems*, 1997, vol. 8, no. 3, pp. 159–172. DOI: 10.1108/09576069710181974
5. Liu J.P., Luo Z.B., Chu L.K., Chen Y.L. Manufacturing System Design with Optimal Diagnosability. *International Journal of Production Research*, 2004, vol. 42, no. 9, iss. 01, pp. 1695–1714. DOI: 10.1080/00207540310001645147
6. Choi S.H., Lee J.S.L., Wong T.N., Dai Y.X. The Design Architecture and Implementation of an Integrated Manufacturing System. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 1997, vol. 10, no. 1–4, pp. 232–244. DOI: 10.1080/095119297131336
7. Jacobson M. O. (Ed.) *Edinaya sistema planovo-predupreditel'nogo remonta i ratsionalnoy expluatsii mashinostroitel'nykh predpriyatii* [A Unified System of Preventive Maintenance and Rational Operation Technological Equipment of Machine-Building Enterprises]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1967. 592 p.
8. Klyagin V.I., Sabirov F.S. (Eds.) *Tipovaya sistema tehničeskogo obsluzhivaniya i remonta metallo- i derevoobrabatavautchego oborudovaniya* [A Typical System Maintenance and Repair, Metal and Woodworking Equipment]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1988. 672 p.
9. Kutay A.K., Kayruk R.S. [Technological Precision of Machines and the Assessment of the Quality of their Repair]. *Stanki i instrument* [Machines and tools], 1969, no. 7, pp. 12–14. (in Russ.)
10. Seregin A.A. [Analysis and Synthesis of Control Models Production Equipment with a Limited Range of Products]. *Vestnik of Orenburg State University*, 2012, no. 1, pp. 200–206. (in Russ.)
11. Seregin A.A. [The Management of the Exploitation of Machines and Devices]. *Technology of mechanical engineering*, 2011, no. 9, pp. 38–40. (in Russ.)
12. Brannick J., Hu X., Brannick J., Rodrigo C., Zikatanov L. Local Fourier Analysis of Multigrid Methods with Polynomial Smoothers and Aggressive Coarsening. *Journal: Numerical Mathematics: Theory, Methods and Applications*, 2015, vol. 8, no. 3, pp. 1–21. DOI: 10.4208/nmtma.2015.w01si
13. Bai Z.-J., Jin X.-Q., Yao T.T. Superoptimal Preconditioners for Functions of Matrices. *Journal: Numerical Mathematics: Theory, Methods and Applications*, 2015, vol. 8, no. 10, pp. 515–529. DOI: 10.4208/nmtma.2015.my1340
14. Haber E., Horesh R. Multilevel Method for the Solution of Time Dependent Optimal Transport. *Journal: Numerical Mathematics: Theory, Methods and Applications*, 2015, vol. 8, no. 3, pp. 97–111. DOI: 10.4208/nmtma.2015.w02si
15. Seregin A.A. Shatilov A.A. [The Agreed Upon Repair of the Machine and Accessories]. *Remont, vosstanovlenie, modernizatsiya* [Repair, Restoration, Modernization], 2006, no. 1, pp. 26–28. (in Russ.)
16. Seregin A.A., Shatilov A.A. [The Question of the Renovation of Heavy Machine Tools and Technological Equipment]. *Scientific works of GOSNITI*, 2013, vol. 113, pp. 75–85. (in Russ.)
17. Vragov Yu.D. *Analiz komponovok metallovezhustchih stankov. Osnove componentiki* [Analysis of Configurations of Machine Tools. The Basics of Componentice]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1978. 208 p.
18. Hardgrave W.W., Nomhauser G.L. Geometric Model and Graphical Algorithm for f Sequencing Problem. *Operations Research*, 1963, vol. 11, iss. 6, pp. 13–22.
19. Königseder C., Stanković T., Shea K. Improving Design Grammar Development and Application Through Network-Based Analysis of Transition Graph. *Journal: Design Science*, 2016, vol. 2, pp. 16. DOI: 10.1017/dsj.2016.5
20. Wang M., Chen W., Huang Y., Contractor N. S., Fu Y. Modeling Customer Preferences Using Multidimensional Network Analysis in Engineering Design. *Journal: Design Science*, 2016, vol. 2, DOI: 10.1017/dsj.2016.11

21. Peherstorfer B., Kowitz C., Pflüger D., Bungartz H.-J. Selected Recent Applications of Sparse Grids. *Journal: Numerical Mathematics: Theory, Methods and Applications*, 2015, vol. 8, no. 3, pp. 47–77. DOI: 10.4208/nmtma.2015.w05si

Received 11 January 2018

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Серёгин, А.А. Решение задачи проектирования производств при условии обеспечения непрерывности выпуска продукции / А.А. Серёгин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2018. – Т. 18, № 1. – С. 40–50. DOI: 10.14529/engin180105

FOR CITATION

Seregin A.A. The Solution to the Problem of Designing Workshops While Ensuring the Continuity of Production. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2018, vol. 18, no. 1, pp. 40–50. (in Russ.) DOI: 10.14529/engin180105
