

УДК 658.51

Автоматизированное управление загрузкой оборудования мелкосерийного производства в составе внешнего математического обеспечения информационно-управляющей системы

Догадина Е. П., Кропотов Ю. А.

Постановка задачи: Одним из способов повышения эффективности промышленного предприятия является применение автоматизированных систем управления производственными процессами. Поэтому вопросам создания более совершенных автоматизированных систем управления производствами посвящается последнее время всё большее число работ и научных исследований. В то же время существующие методы и алгоритмы автоматизированного управления были созданы без учета появления новых информационных производственных технологий. Поэтому возникает задача создания методов на основе новых подходов к решению вопросов управления производствами и разработки новых алгоритмов, позволяющих осуществлять более эффективное управление производственными процессами. **Объектом исследования** является промышленное предприятие с последовательной временной и ячеистой пространственной структурой организации производства. При этом данная структура характерна для предприятий мелкосерийного производства. **Целью работы** является разработка алгоритма и программного обеспечения для автоматизированного управления загрузкой оборудования, предназначенного для мелкосерийного производства, и внедрение его в существующее на предприятии внешнее математическое обеспечение информационно-управляющей системы. **Используемые методы:** В работе использовался аппарат теории массового обслуживания, методы оптимизации глобального поиска, аддитивный метод свертки критериев. **Научная новизна** алгоритма заключается в осуществлении многокритериального управления процессами производства, представленными на базе теории массового обслуживания, с целью оперативной замены оборудования с отказом в работе на резервное. Кроме того, разрабатываемый алгоритм должен быть реализован в виде современного программного обеспечения, которое будет иметь высокое быстродействие, наглядность полученных результатов, а также возможность интеграции в существующее внешнее математическое обеспечение информационно-управляющей системы промышленного предприятия. **Результат:** разработано программное обеспечение, которое включает в себя наглядное представление о ходе изготовления продукции, возможность корректировки процесса производства с учетом определенных условий и ограничений, накладываемых на производственный процесс. **Практическая значимость:** разработанный алгоритм и программное обеспечение загрузкой оборудования при отказах позволит в сжатые сроки осуществлять перепланирование процесса производства, что дает возможность выполнить заказ в установленное время даже при возникновении непредвиденных ситуаций (отказ оборудования, длительный ремонт, высокий уровень износа).

Ключевые слова: автоматизированное управление, повышение эффективности, загрузка оборудования, усовершенствованное планирование, диаграмма Ганта, производственные мощности.

Постановка задачи

Работа направлена на разработку алгоритма управления загрузкой оборудования при отказах в составе внешнего математического обеспечения информационно-управляющей системы промышленного предприятия.

Состояние единицы оборудования промышленного предприятия характеризуется качественной оценкой в зависимости от текущих значений параметров технического состояния его отдельных ресурсо-определяющих узлов, оцененных относительно их идеального состояния. Отказ единицы оборудования объекта происходит из-за появления в нем дефекта, выхода параметра технического состояния, определяющего работоспособность

объекта, за установленные пределы. Кроме этого, в качестве периода отказа оборудования будем понимать графики простоя оборудования из-за ремонта и планового осмотра.

На достаточно крупных предприятиях выбор резервного оборудования производится из нескольких тысяч текущих, в зависимости от большого количества критериев. Процесс поиска наилучшего по параметрам и характеристикам оборудования без использования предложенного алгоритма является достаточно трудоемким и иногда неосуществимым. Поэтому одной из важных задач для предприятий является оптимизация производственных процессов, в том числе автоматизация загрузки оборудования в случае отказов по поточным линиям и временным интервалам.

Разрабатываемый алгоритм и программное обеспечение управления загрузкой оборудования при отказах позволяет планировать и перепланировать производственные процессы с учетом особенностей параметров и характеристик используемого резервного оборудования для замены текущего. Предлагаемый алгоритм и программное обеспечение управления дают возможность представить детальную картину производства посредством графика загрузки оборудования, учитывая условие проверки оборудования на пригодность к работе.

Современное состояние исследований и разработок в соответствующей области

Поскольку разрабатываемый алгоритм управления загрузкой оборудования при отказах будет являться основой для разработки программного обеспечения, входящего в состав существующей на предприятии информационно-управляющей системы, то и рассмотрение вопроса об аналогичных исследованиях и работах будет производиться в области автоматизированных систем управления процессами производства.

В современных информационных системах управления и планирования предприятием широкое распространение получили такие системы планирования как APS. Системы APS (Advanced Planning and Scheduling – усовершенствованное планирование) – это системы синхронного оптимизационного планирования производства, которые ориентированы на интеграцию планирования звеньев цепочки поставок, учитывающие все особенности и ограничения производства.

Под синхронным планированием понимается планирование производства, осуществляемое одновременно с учетом ограничений по мощностям и ресурсам (машины, инструменты, люди). Оптимизация в системах APS базируется на эвристиках и/или на сложных математических моделях, которые создаются для конкретной отрасли, конкретного предприятия. При этом тонкая настройка алгоритмов оптимизации может быть осуществлена непосредственно самими пользователями. Большинство APS-систем являются инструментами имитационного моделирования производственной деятельности и применяются для поддержки принятия решений на уровне оперативного управления производством [1-2].

В настоящее время на рынке представлены APS-системы как российского производства, такие как Гольфстрим компании АСКОН, так и зарубежного: ORTEMS, Preactor APS (Preactor International Ltd) [3, 4, 5].

Чтобы выйти на уровень планирования APS-систем, предприятию необходимо адаптировать структуру управления к требованиям автоматизации, сформировать соответствующую идеологию мышления среди обслуживающего персонала, подготовить технические средства, упорядочить материальные и информационные потоки. Разрабатываемый алгоритм и программное обеспечение для управления загрузкой оборудования при отказах является прототипом одного из модулей APS-систем (модуль Finite Capacity Scheduling – детальное планирование загрузки производственных мощностей).

Математическая модель производственного процесса мелкосерийного производства

В работе рассматривается последовательная временная и ячеистая пространственная структуры организации производства. Данная структура характерна для предприятий мелкосерийного производства.

Временная структура организации производства определяется составом элементов производственного процесса и порядком их взаимодействия во времени. Форма организации производства с последовательной передачей предметов труда представляет собой такое сочетание элементов производственного процесса, при котором обеспечивается движение обрабатываемых изделий по всем производственным участкам партиями произвольной величины. Предметы труда на каждую последующую операцию передаются лишь после окончания обработки всей партии на предшествующей операции. Данная форма является наиболее гибкой по отношению к изменениям, возникающим в производственной программе, позволяет достаточно полно использовать оборудование, что дает возможность снизить затраты на его приобретение.

Пространственная структура организации производства определяется количеством технологического оборудования, сосредоточенного на рабочей площадке (числом рабочих мест), и расположением его относительно направления движения предметов труда в окружающем пространстве. В зависимости от количества технологического оборудования (рабочих мест) различают производственную систему с цеховой, линейной или ячеистой структурой. Ячеистая пространственная структура организации производства объединяет признаки линейной и цеховой, т.е. оборудование (рабочие места) могут располагаться как последовательно, так и параллельно потоку заготовок, что предполагает их специализацию по признаку технологической однородности. В этом случае партия деталей, обрабатываемая на участке, может передаваться с одного рабочего места на другое последовательно или направляется на одно из свободных рабочих мест, где проходит необходимый цикл обработки.

Разработаем математическую модель производственного процесса с последовательной ячеистой структурой на базе теории массового обслуживания. Рассматриваемую структуру организации производства можно

представить на базе нестационарных многофазных одноканальных и многоканальных систем массового обслуживания с ожиданием и с отказом.

Для описания функционирования производственных процессов будем использовать следующие основные характеристики: ёмкость источника заявок $N_0(t)$, длина очереди заявок $Q_0(t)$ и число устройств обслуживания $M_0(t)$ [1, 2].

В каждый момент времени производственный процесс может находиться в одном из состояний, определяемых такими характеристиками, как число функционирующих устройств обслуживания $M(t)$, число занятых устройств $Z(t)$ и число заявок в очереди $Q(t)$. Пусть $S(m, z, q)$ представляет собой состояние, когда в системе используется m устройств, из них занято обслуживанием z устройств и q заявок находится в очереди.

Для описания интенсивностей поступления заявок в систему и интенсивностей обслуживания заявок введем векторные величины $\lambda(t)$ и $\mu(t)$.

Структурная схема функционирования процессов производства с помощью аппарата теории массового обслуживания представлена на рис. 1.

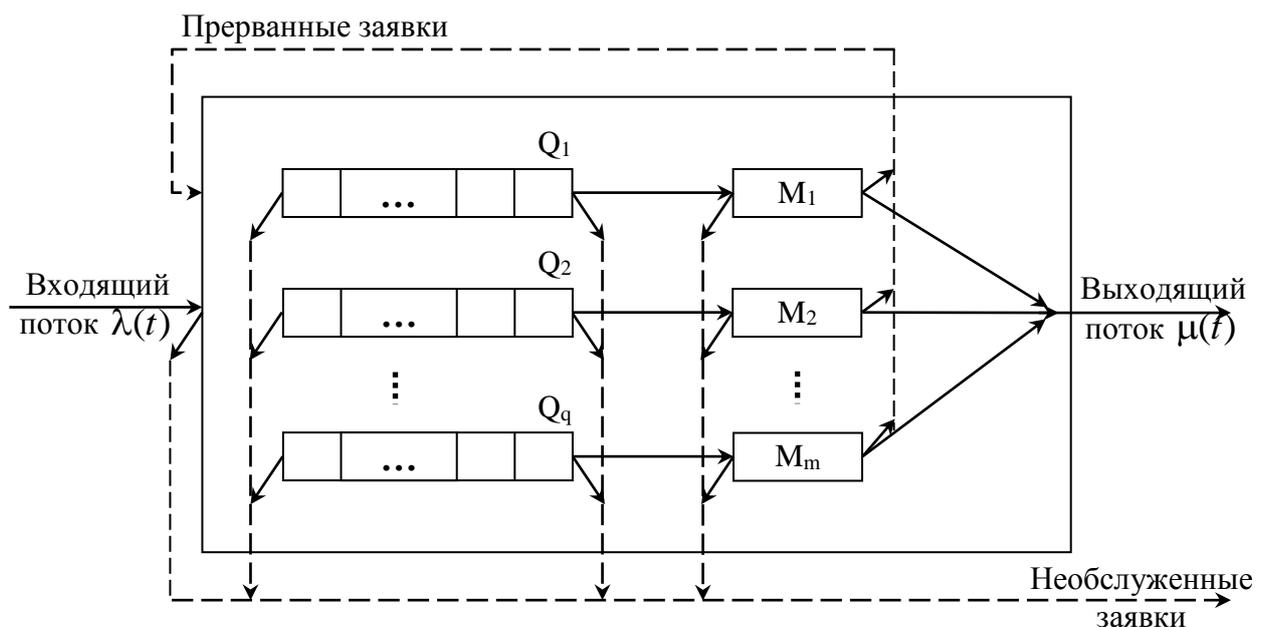


Рис. 1. Структурная схема функционирования производственных процессов на основе математического аппарата теории массового обслуживания

Разработаем математическую модель функционирования производственных процессов с последовательной ячеистой структурой на основе систем дифференциальных уравнений Колмогорова на рассматриваемом интервале времени функционирования $t \in [0, T]$ [1, 2].

$$\frac{dp_a(t)}{dt} = - \sum_{\substack{a,b \in N \\ b \neq a}} d_{ab}(t) \cdot p_a(t) + \sum_{\substack{a,c \in N \\ c \neq a}} d_{ca}(t) \cdot p_c(t) \quad (1)$$

где N' – множество пар индексов состояний $N' = \{(a, b) \in N^2 | d_{ab} = (S_a, S_b)\}$ и $N = \{0, 1, 2, \dots\}$.

Использование в математической модели переменных a, b, c говорит о том, что система находится в состояниях $S(m_a, z_a, q_a)$, $S(m_b, z_b, q_b)$ и $S(m_c, z_c, q_c)$ соответственно. Марковская цепь переходов по состояниям $S(m_a, z_a, q_a)$, $S(m_b, z_b, q_b)$ и $S(m_c, z_c, q_c)$ представляет собой полный орграф.

Начальное состояние выражено как

$$p_a(0) = p_{a0} > 0, \quad a \in N. \quad (2)$$

Также необходимо соблюдать условие нормировки

$$\sum_{a \in N} p_a(t) = 1. \quad (3)$$

Данная математическая модель имеет ряд особенностей [2]:

- 1) характеристики системы и интенсивности поступления и обслуживания заявок представлены в векторной форме, что расширяет круг исследуемых заявок;
- 2) состояния системы представляют собой состояния, когда в системе используются значения трех характеристик, а именно: число используемых устройств; число занятых под обслуживанием устройств; число заявок, находящихся в очереди.
- 3) плотности вероятности перехода системы из одного состояния в другое являются функциями характеристик, задающих исходные состояния для перехода, и интенсивностей потоков, происходящих в системе.

Плотность d_{ab} ($a \neq b$) перехода из состояния S_a в состояние S_b определена следующим образом

$$d_{ab} = \begin{cases} \mu_a(t), b = a - 1, t \in [0, T]; \\ \lambda_a(t), b = a + 1, t \in [0, T]; \\ 0, a \neq b, a = 0, 1, 2, \dots \end{cases}$$

С помощью данной математической модели производственных процессов (1–3) определены дополнительные характеристики производственной системы функционирования, такие как среднее число функционирующих устройств в момент времени t , среднее число занятых каналов и среднее число обслуживаемых заявок в момент времени t , среднее число заявок в очереди и в системе в момент времени t [1, 2, 6, 7, 8].

Разработка математической модели и алгоритма управления параметрами

производственного процесса мелкосерийного производства

На основе математической модели процессов с последовательной ячеистой структурой разработан алгоритм управления параметрами производственных процессов.

При управлении параметрами производственных процессов выполняются следующие функции [8]:

- 1) определяется вектор $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ управляемых параметров системы;
- 2) задается множество Ω_{don} допустимых значений вектора $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$;
- 3) формируются дополнительные ограничения, накладываемые на производственный процесс, в виде неравенств $\psi_i(p(t), X) \leq 0, \quad i = \overline{1, l}$;
- 4) задаются критерии $K = (K_1, K_2, \dots, K_r)$ для задачи многокритериальной векторной оптимизации управляемых параметров производственного процесса $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$.

В качестве управляемых параметров производственного процесса $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ можно выделить следующие [9, 10]:

- параметры поступления заявок (интенсивность входного потока $\lambda(t)$, емкость источника заявок $N(t)$ и т.п.);
- параметры обслуживания заявок (интенсивность обслуживания $\mu(t)$, число каналов обслуживания $M(t)$ заявок, длина очереди $Q(t)$ и т.п.);
- параметры исследуемой системы, определяемые как функции параметров поступления и обслуживания заявок (стоимость обслуживания всей системы или одного канала, издержки простоя и эксплуатации, эффективность работы системы и т.п.).

Разработанная математическая модель управления параметрами производственного процесса с последовательной ячеистой структурой имеет вид [2, 8]

$$K = f(p(t), X) \rightarrow \min(\max), \quad (4)$$

$$K = (K_1, K_2, \dots, K_r),$$

$$\psi_i(p(t), X) \leq 0, \quad i = \overline{1, l}, \quad (5)$$

$$X = (\lambda, \mu, m, q) \in \Omega_{don}, \quad (6)$$

$$\frac{dp(t)}{dt} = f(X(t), p(t)), \quad (7)$$

$$p_a(0) = p_{a0}, a \in N, \quad (8)$$

$$\sum_{a \in N} p_a(t) = 1, \quad (9)$$

где K – вектор-функция выбранных критериев оптимальности производственных процессов, X – вектор оптимизируемых параметров системы, от которого зависят плотности вероятностей переходов системы, λ – вектор интенсивностей входных потоков заявок, μ – вектор интенсивностей их обслуживания, m – число обслуживающих устройств, q – длина очереди системы, $p(t)$ – вектор-функция вероятностей состояний системы на рассматриваемом интервале времени функционирования $t \in [0, T]$,

определяемая моделью вида (7)–(9).

Система ограничений (5) и выражение (6) определяют область допустимых решений задачи.

Основными особенностями предлагаемой математической модели управления параметрами производственного процесса с последовательной ячеистой структурой являются:

- 1) возможность высокой размерности модели, зависящей от числа уравнений системы (1), что актуально для большинства практических задач;
- 2) наличие дискретных и векторных компонент в составе вектора управляемых параметров X (6).

Требуется разработать алгоритм управления параметрами производственных процессов в зависимости от поведения целевой функции (4)–(9). Для реализации алгоритма управления производственными процессами мелкосерийного типа производства потребовалось внести некоторые модификации в реализацию метода глобального поиска на базе генетического алгоритма.

Разрабатываемый алгоритм управления параметрами производственных процессов состоит из следующих шагов [2, 11, 12, 13].

1. Т.к. в составе вектора управляемых параметров X значения X_1, X_2, \dots, X_n могут быть не только дискретными, но и векторными $X_1(t), X_2(t), \dots, X_n(t)$, то необходимо пересмотреть привычную терминологию генетического алгоритма в связи с данной особенностью. Введем термин «хромосома», в качестве которой представляется каждое значение $X_1(t), X_2(t), \dots, X_n(t)$ вектора оптимизируемых параметров $X = (X_1, X_2, \dots, X_n) \in \Omega_{don}$.
2. Под особью $X_i, i = 1..N_{pop}$ (N_{pop} – число популяций) понимается соответствующее значение вектора $(X_{i,1}, X_{i,2}, \dots, X_{i,n}) \in \Omega_{don}$, компоненты которого являются в данном случае генами.
3. Функция соответствия, оценивающая хромосомы по степени их приспособленности к выполнению критерия оптимизации, реализована на основе метода рулетки. Функция соответствия хромосомы определяется для каждой особи в отдельности и представляет собой значение целевой функции, вычисленного с помощью векторной свертки, в зависимости от критериев.
4. Выбранные гены (значения вектора $(X_{i,1}, X_{i,2}, \dots, X_{i,n})$) для скрещивания не должны совпадать, а также значение этих генов должно быть в пределах области допустимых значений Ω_{don} .
5. Для осуществления мутации необходимо выбрать ген, который подвергается мутации, и обозначить его порядковый номер в популяции.
6. В качестве условия завершения процесса используем достижение заданного числа поколений.

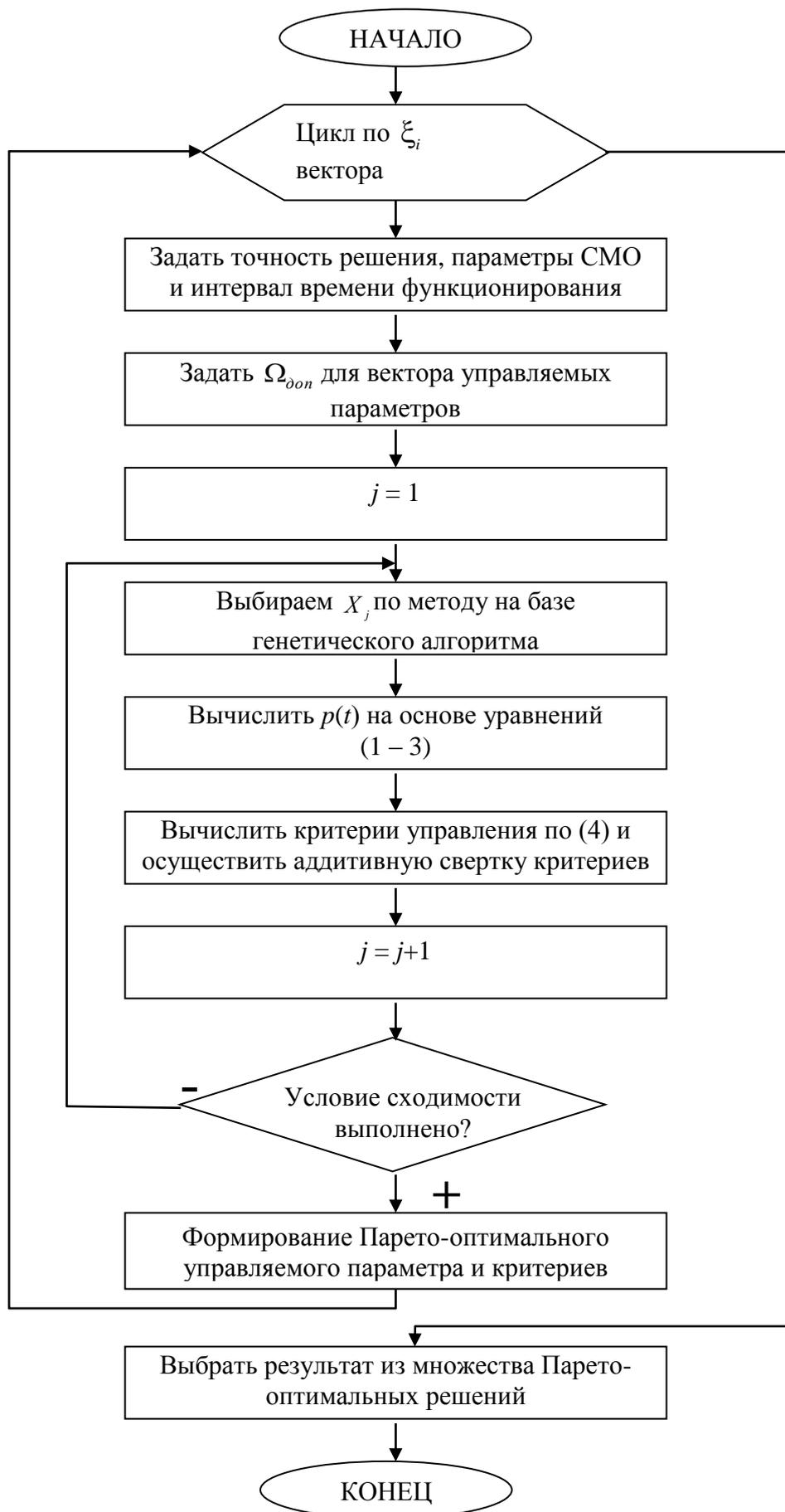


Рис. 2. Алгоритм управления параметрами производственных процессов



Рис. 3. Принцип работы генетического алгоритма

На рис. 2 представлен общий алгоритм управления параметрами производственных процессов.

На рис. 3 представлен принцип работы генетического алгоритма, входящего в состав алгоритма управления параметрами производственных процессов.

На рис. 2 видно, что осуществляется решение задачи многокритериального управления производственными процессами.

$$F(\xi, K(X)),$$

$$X = (X_1, X_2, \dots, X_n) \in \Omega_{\text{дон}},$$

где $\xi = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n)$ – весовые коэффициенты относительной важности критериев.

В данной работе весовые коэффициенты относительной важности критериев задаются в соответствии с условиями

$$0 \leq \xi_j \leq 1, j = 1 \dots n$$

$$\sum_{j=1}^n \xi_j = 1, j = 1 \dots n$$

Пример применения алгоритма управления параметрами производственного процесса мелкосерийного производства

Рассмотрим пример реализации алгоритма управления производственными процессами с последовательной ячеистой структурой, характерной для мелкосерийного типа производства, применительно к конкретному производству. Преимуществом данного алгоритма является возможность его интеграции в состав внешнего математического обеспечения информационно-управляющей системы предприятия.

Сущность интеграции разрабатываемого алгоритма и программного обеспечения к нему в существующую информационно-управляющую систему предприятия представлена на рис. 4. В данном случае данные об оборудовании ($Об_1, Об_2, \dots, Об_n$) поступают из автоматизированной информационно-управляющей системы, существующей на предприятии. Блок многокритериальной оптимизации, представленной на рис. 4, осуществляется на базе разработанного алгоритма управления параметрами производственного процесса. Управляемые параметры алгоритма представлены в блоке вычисляемых данных.

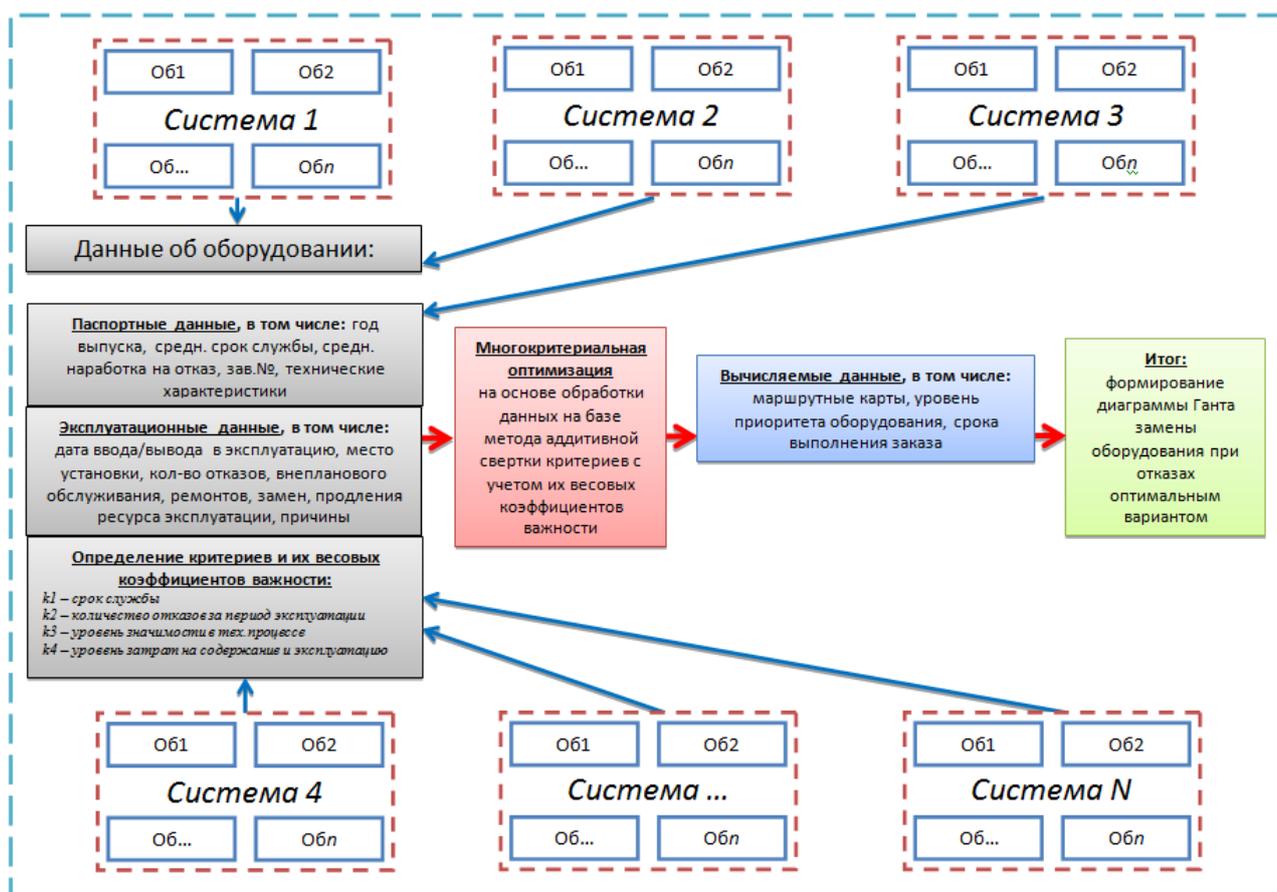


Рис. 4. Интеграция разрабатываемого алгоритма и программного обеспечения к нему в существующую информационно-управляющую систему предприятия

Программное обеспечение, разработанное на базе алгоритма управления производственными процессами, осуществляет работу с базой данных, содержащей нормативно-справочную информацию. Нормативно-справочная

информация в данные базы может быть внесена как одним оператором (который отвечает за разработку плана), так и непосредственно внесена из соответствующих отделов (подразделений) предприятия (отдел оборудования и ремонта, бюро оснастки, отдел главного конструктора и т.д.), при условии, что технические средства позволяют.

При разработке программного обеспечения необходимо учитывать следующие условия [8, 9, 10].

Условие, когда запрещается прерывать выполнение операции, записывается в виде:

$$t_{O_{im}}^{нач} + T_{O_{im}} = t_{O_{im}}^{кон},$$

где $t_{O_{im}}^{нач}$ – момент начала обработки операции O_i на оборудовании m , $T_{O_{im}}$ – время обработки операции O_i на оборудовании m , $t_{O_{im}}^{кон}$ – момент окончания обработки операции O_i на оборудовании m .

Условие, когда момент начала выполнения следующей операции по обработке изделия при последовательном виде движения не может начаться раньше, чем завершится обработка данной операции, записывается выражением:

$$t_{O_{im}}^{нач} \geq t_{O_{i-1m}}^{кон}$$

Условие, когда момент начала выполнения следующей операции по обработке изделия при последовательно-параллельном виде движения должен превышать момент начала выполнения предыдущей операции на минимальный возможный интервал времени (t_{min}), записывается в виде:

$$t_{O_{i-1m}}^{кон} - t_{O_{im}}^{нач} \geq t_{min}$$

Следует отметить, что не обязательно добиваться строгой аналитической формулировки некоторых ограничений, особенно отражающих динамические зависимости, т.к. алгоритмическое соблюдение приведенных выше ограничений не вызывает никаких затруднений.

Таким образом, задача заключается в том, чтобы для производственного предприятия с заданными маршрутами обработки изделий необходимо построить такой вариант управления, который удовлетворял бы заданным условиям и ограничениям, и был наиболее близок к выбранному критерию оптимальности. Для начала моделирования плана работ пользователю необходимо назначить параметры расчета, такие как интервал планирования, параметры оценки нахождения оборудования в работе, а также параметры, связанные со спецификой производственного процесса, такие как вид движения производства, количество наладчиков оборудования, принятые временные перерывы на производстве.

На рис. 5 представлен план загрузки оборудования на одной поточной линии. Под поточной линией понимается комплекс оборудования, взаимосвязанного и работающего согласовано с заданным ритмом по единому производственному процессу.

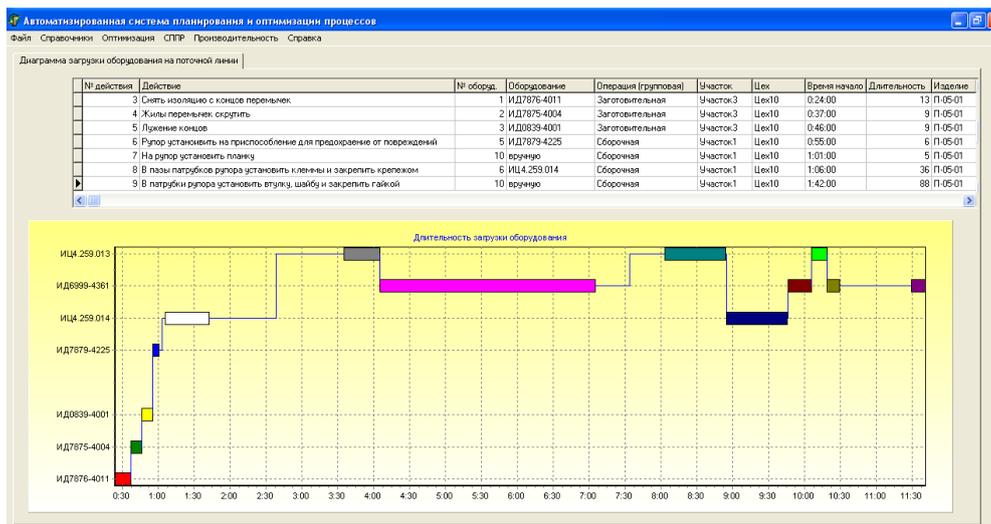


Рис. 5. План загрузки оборудования на одной поточной линии

Разработанное программное обеспечение может выполнять следующие функции:

- возможность масштабирования диаграммы Ганта;
- возможность ручной корректировки длительности операций при изготовлении изделия;
- возможность смещения времени начала и завершения операции;
- возможности корректировки (переноса) процесса изготовления с одного оборудования на другое.

При построении графика загрузки оборудования учитывается условие проверки оборудования на пригодность к работе. Если пользователь составляет график и какое-то оборудование, участвующее в графике, находится в ремонте или не исправно, то программой выдается соответствующее предупреждение.

Разработанное программное обеспечение позволяет оценить и скорректировать загрузку оборудования по поточным линиям и временным интервалам.

Реализация программного обеспечения велась на основе объектно-ориентированного языка программирования Delphi и СУБД Firebird.

Выводы

В данной работе представлена разработка алгоритма управления параметрами производственного процесса мелкосерийного производства. На базе данного алгоритма реализовано программное обеспечение управления загрузкой оборудования, входящее в состав внешнего математического обеспечения информационно-управляющей системы промышленного предприятия. Разработанное программное обеспечение управляет загрузкой оборудования по поточным линиям и временным интервалам.

С помощью разработанного алгоритма управления параметрами производственного процесса мелкосерийного производства экономится время на автоматизацию управления графиком производства с учетом требуемых производственных ограничений, а также осуществляется возможность

оперативно реагировать на непредвиденные обстоятельства в ходе выполнения производственного процесса.

Литература

1. Догадина Е. П., Кропотов Ю. А., Суворова Г. П. Математическая модель определения вероятностей состояний системы обслуживания // Радиотехника. 2009. № 11. С. 103-105.
2. Догадина Е. П. Функциональная модель управления производственными процессами с последовательной ячеистой структурой // Методы и устройства передачи и обработки информации. 2011. № 1. С. 119-120.
3. Гольфстрим – MRP система автоматизированного управления производством [Электронный ресурс]. – URL: <http://gulfstream-mrp.ru> (дата обращения: 30.10.2016).
4. APS планирование с системой Ortems [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.ortems.ru> (дата обращения: 30.10.2016).
5. Products - Preactor International Limited - A Siemens [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.preactor.com/Products.aspx#.WCV0tnrd28A> (дата обращения: 30.10.2016).
6. Кропотов Ю. А., Быков А. А. Алгоритм подавления акустических шумов и сосредоточенных помех с формантным распределением полос режекции // Вопросы радиоэлектроники. 2010. Т. 1. № 1. С. 60-65.
7. Ермолаев В. А., Ерёменко В. Т., Карасёв О. Е., Кропотов Ю. А. Идентификация моделей дискретных линейных систем с переменными, медленно изменяющимися параметрами // Радиотехника и электроника. 2010. Т. 55. № 1. С. 57-62.
8. Догадина Е. П., Кропотов Ю. А. Определение парето-оптимального множества реализации работы на примере применения генетического алгоритма // Системы управления, связи и безопасности. 2015. № 4. С. 142-149.
9. Догадина Е. П., Коноплев А. Н. Многокритериальное управление процессами мелкосерийного производства радиоэлектронной аппаратуры // Методы и устройства передачи и обработки информации. 2011. № 1. С. 121-123.
10. Догадина Е. П., Коноплев А. Н. Метод свертки критериев при представлении оптимизируемого параметра в качестве вектора // В мире научных открытий. 2010. № 6.1 (12). С. 53-54.
11. Белов А. А., Кропотов Ю. А., Проскуряков А. Ю. Автоматизированный анализ и обработка временных рядов данных о загрязняющих выбросах в системе экологического контроля // Информационные системы и технологии. 2010. № 6 (62). С. 28-35.
12. Быков А. А., Кропотов Ю. А. Аппроксимация закона распределения вероятности отсчетов сигналов акустических помех // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2011. № 2. С. 61-63.
13. Догадина Е. П. Программный комплекс автоматизации управления производственными процессами на базе стохастических методов локального поиска // Радиопромышленность. 2012. № 2. С. 154-159.

References

1. Dogadina E. P., Kropotov U. A., Suvorova G. P. Mathematical model of the determination of probability of the conditions of the system of the service. *Radiotekhnika*, 2009, no. 11, pp. 103-105 (in Russian).
2. Dogadina E. P. Functional model of management production process with consequent cellular structure. *Metody i ustroystva peredachi i obrabotki informatsii*, 2011, no. 1, pp. 119-120 (in Russian).
3. Gulfstream – MRP computer-aided production management. Available at: <http://gulfstream-mrp.ru> (accessed: 30 October 2016) (in Russian).
4. APS planning system Ortems. Available at: <http://www.ortems.ru> (accessed: 30 October 2016) (in Russian).
5. Products - Preactor International Limited - A Siemens. Available at: <http://www.preactor.com/Products.aspx#.WCV0tnrd28A> (accessed: 30 October 2016) (in Russian).
6. Kropotov Y. A., Bykov A. A. Algorithm of suppression of acoustic noise and the concentrated hindrances with formant band distribution rejection. *Voprosy radioelektroniki*, 2010, vol. 1, no. 1, pp. 60-65 (in Russian).
7. Ermolaev V. A., Eremenko V. T., Karasev O. E., Kropotov Y. A. Model identification of discrete linear systems with variables, slowly varying parameters. *Radiotekhnika i ehlektronika*, 2010, vol. 55, no. 1, pp. 57-62 (in Russian).
8. Dogadina E. P., Kropotov U. A. Determination Steamed Ensemble to Realization of the Work on Example of the Using the Genetic Algorithm. *Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti*, 2015, no. 4, pp. 142-149 (in Russian).
9. Dogadina E. P., Konoplev A. N. Mnogokriterialnoe management process production equipments. *Metody i ustroystva peredachi i obrabotki informatsii*, 2011, no. 1, pp. 121-123 (in Russian).
10. Dogadina E. P., Konoplev A. N. Method of the folding of the criterion at condition of the presentation of the optimized parameter in the manner of vector. *V mire nauchnykh otkrytij*, 2010, vol. 12, no. 6.1, pp. 53-54 (in Russian).
11. Belov A. A., Kropotov Y. A., Proskuryakov A. Y. The automated analysis and processing time numbers of the data about polluting emissions in system of the ecological control. *Informatsionnye sistemy i tekhnologii*, 2010, vol. 62, no. 6, pp. 28-35 (in Russian).
12. Bykov A. A., Kropotov Y. A. Approximation of the distribution law of probability samples of the signals of acoustic interference. *Radiotekhnicheskie i telekommunikatsionnye sistemy*, 2011, no. 2, pp. 61-63 (in Russian).
13. Dogadina E. P. Programme complex to automations of management production process on base of the stochastic methods of local searching for. *Radiopromyshlennosti*, 2012, no. 2, pp. 154-159 (in Russian).

Статья поступила 23 ноября 2016 г.

Информация об авторах

Догадина Елена Петровна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроники и вычислительной техники». Муромский институт (филиал) «Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевич Столетовых». Область научных интересов: системы автоматизации, проектирования и управления; оптимизация. Тел.: +7(49234)772-72. E-mail: delena86@yandex.ru

Кропотов Юрий Анатольевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электроники и вычислительной техники». Муромский институт (филиал) «Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевич Столетовых». Область научных интересов: телекоммуникационные и информационно-управляющие системы. Тел.: +7(49234)772-72. E-mail: kaf-eivt@yandex.ru

Адрес: Россия, 602264, г. Муром, ул. Орловская, д. 23.

The Automat Control of Loading Equipment at Small-scale Production for the External Mathematical Software of the Information Management System

E. P. Dogadina, Y. A. Kropotov

Purpose. One of methods of increase in efficiency of industrial enterprise is application of automated control systems for production processes. Therefore the increasing number of works and scientific research is devoted to questions of creation of more perfect automated control systems for productions lately. In too time the existing algorithms of automated management were created without emergence of new information production technologies. Therefore there is the problem of creating methods on the basis of new approaches to solving the issues of production control. And also need to develop new algorithms to implement a more efficient management of production processes. **Object of the research** are industrial enterprises with the consecutive temporary and the cellular spatial structure of production organization. This structure is characteristic for the principles of small-lot production. **The purpose of paper** is development of the algorithm and the software for automated control of loading of the equipment intended for small-lot production. This software is used in the external software of management information system existing at the entity. **Methods.** In paper used the apparatus of the Queuing theory, optimization methods, global search, an additive method of convolution of criteria. **Scientific novelty of paper** consists in implementation of multicriteria process management of production, provided based on the theory of queues, for the purpose of operational replacement of the equipment with failure on reserve. Besides, the developed algorithm and the software shall be realized on the basis of use of modern software products. This software products have high speed, presentation of the received results, and also ability to integrate into the existing external software of management information system of industrial enterprise. **Results.** The software which includes the control algorithm of process of manufacture of products, with possibility of adjustment of a production process taking into account the certain conditions and restrictions imposed on production process is developed. **Practical importance:** the developed algorithm and the software loading of the equipment in case of refusals will allow do replanning of a production process that gives the chance to execute the order at the scheduled time even in case of unforeseen situations (equipment failure, long repair, high level of depreciation).

Key words: automated control, raise efficiency, loading equipment, improved planning, Gantt chart, production capacity.

Information about Authors

Elena Petrovna Dogadina – Ph.D. of Engineering Sciences, associate professor of chair «Electronics and Computer Science». Murom institute (branch) of the «Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletovs». Field of research: systems to automations, designing and management; optimization. Ph.: +7(49234)77272. E-mail: delena86@yandex.ru

Yurij Anatolievich Kropotov – Dr. of Engineering Sciences, Full Professor. Head of the Department «Electronics and Computer Science». Murom institute (branch) of the «Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletovs». Field of research: telecommunication information and control systems. Ph.: +7(49234)77272. E-mail: kaf-eivt@yandex.ru

Address: Russia, 602264, Murom, st. Orlovskaya, h. 23.