

УДК 65.011.56
DOI: 10.12737/24893

Е.П. Догадина, Ю.А. Кропотов, Н.Е. Холкина

АЛГОРИТМ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАГРУЗКОЙ ОБОРУДОВАНИЯ МЕЛКОСЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Объектом исследования являются промышленные предприятия с последовательной временной и ячеистой пространственной структурой организации производства, которая характерна для принципов мелкосерийного производства. Целью работы является разработка алгоритма автоматизированной загрузки оборудования, предназначенного для мелкосерийного производства. В работе использовался аппарат теории массового обслуживания, методы оптимизации глобального поиска, аддитивный метод свертки критериев. На базе алго-

ритма 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.

Ключевые слова: усовершенствованное планирование, автоматизированная система управления, загрузка оборудования, мелкосерийное производство, диаграмма Ганта, производственные мощности.

E.P. Dogadina, Yu.A. Kropotov, N.E. Kholkina

ALGORITHM OF AUTOMATED SYSTEM OF MACHINE UTILIZATION CONTROL IN SMALL-LOT PRODUCTION OF ELECTRONICS PRODUCTS

The object of research is industrial enterprises with successive temporal and cellular spatial structure of production organization which is common for principles of small-lot production. The purpose of the work is the development of an algorithm for automated machine utilization intended for small-lot production. In the paper there was used an apparatus of the theory of mass service, methods of global search optimization, an additive method of criteria compression. On the

basis of the algorithm there is developed a software which includes a visual presentation of the procedure of product manufacturing, a possibility of production correction taking into account definite conditions and limitations imposed on the production process.

Key words: updated planning, automated control system, machine utilization, small-lot production, Gantt diagram, production facilities.

Введение

В современных информационных системах управления предприятием широкое распространение получили такие системы планирования, как APS. 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 эври-

стичах и/или 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) [8; 9; 10].

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.

Математическая модель управления производственными процессами мелкосерийного производства

Представим математическую модель процессов с последовательной ячеистой

структурой, характерной для мелкосерийного типа производства [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, $N' = \{(a,b) \in N^2 | d_{ab} = (S_a, S_b)\}$, $N = \{0,1,2,\dots\}$; $d_{ab}(a \neq b)$ – плотность вероятности перехода из состояния S_a в состояние S_b .

да, и интенсивностей потоков.

С помощью математической модели производственных процессов (1 – 3) определены дополнительные характеристики производственной системы функционирования [1; 2; 11; 12].

Использование в математической модели переменных a, b, c говорит о том, что система находится в состояниях $S_a = S(m_a, z_a, q_a)$, $S_b = S(m_b, z_b, q_b)$ и $S_c = S(m_c, z_c, q_c)$ соответственно. Здесь $S(m, z, q)$ представляет собой состояние, когда в системе используется m устройств, из них занято обслуживанием z устройств и q заявок находится в очереди.

На основе математической модели процессов с последовательной ячеистой структурой разработана задача автоматизации управления параметрами производственных процессов.

Разработанная математическая модель управления параметрами системы в виде многокритериальной задачи имеет вид [2; 4]

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

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

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

$$X = (\lambda, \mu, M, Q) \in \Omega_{\text{дон}}, \quad (6)$$

$$(2) \quad \frac{dp(t)}{dt} = f(X(t), p(t)), \quad (7)$$

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

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

Интегрирование этой системы дает искомые вероятности как функции времени. Начальное состояние выражено как

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

и соблюдается условие

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

Данная математическая модель имеет ряд особенностей [1]:

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 (число используемых устройств, число занятых обслуживанием устройств, число заявок, находящихся в очереди);

3) плотности вероятностей перехода являются функциями характеристик, задающих исходные состояния для переходов

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 модели автоматизации управления производственными процессами являются:

а) возможность высокой размерности модели, зависящей от числа уравнений

системы (1), что актуально для большинства практических задач;

б) наличие дискретных и векторных компонент в составе вектора управляемых параметров X (6).

Требуется разработать алгоритм векторного управления параметрами производственных процессов в зависимости от поведения целевой функции (4 – 9).

Разработка алгоритма векторного управления процессами промышленного производства

В качестве метода глобального поиска для составления алгоритма векторного управления производственными процессами для мелкосерийного типа производства выбран метод на базе генетического алгоритма. Генетические алгоритмы представляют собой адаптивные методы поиска, которые в последнее время часто используются для решения задач функциональной оптимизации.

Введем термин «хромосома», в качестве которой представляется каждое значение вектора оптимизируемых параметров $X = (X_1, X_2, \dots, X_n) \in \Omega_{don}$.

В данной работе предлагается модификация генетического алгоритма, имеющая следующие особенности [2; 3; 4; 6; 7].

1. В качестве хромосом представляются значения вектора оптимизируемых параметров

$X = (X_1, X_2, \dots, X_n) \in \Omega_{don}$, причем каждая особь популяции должна принадлежать области допустимых значений Ω_{don} . Под особью $X_i, i=1..N_{pop}$ понимается соответствующее значение вектора $X = (X_{i,1}, X_{i,2}, \dots, X_{i,n}) \in \Omega_{don}$, в котором число изменений особей и генов зависит от числа поколений N_{pok} .

2. Функция соответствия хромосомы определяется для каждой особи в отдельности и представляет собой значение целевой функции, вычисленное с помощью векторной свертки (в зависимости от критериев).

3. Выбранные для скрещивания гены (компоненты особи $(X_{i,1}, X_{i,2}, \dots, X_{i,n})$) не должны совпадать, а их значения должны быть в пределах области допустимых значений, иначе выбираются другие гены.

4. Для осуществления мутации необходимо выбрать ген, который подвергается мутации, и обозначить его порядковый номер в популяции; бит в гене, который надо мутировать.

5. В качестве условия завершения процесса используется достижение заданного числа поколений.

На базе разработанного алгоритма, в основе которого лежит генетический алгоритм, требуется определить множество Парето требуемого параметра производственного процесса. Под множеством Парето будем понимать множество безусловно несравнимых альтернатив, оставшихся после отбрасывания всех безусловно худших альтернатив.

Алгоритм векторного управления процессами мелкосерийного производства представлен на рис. 1.

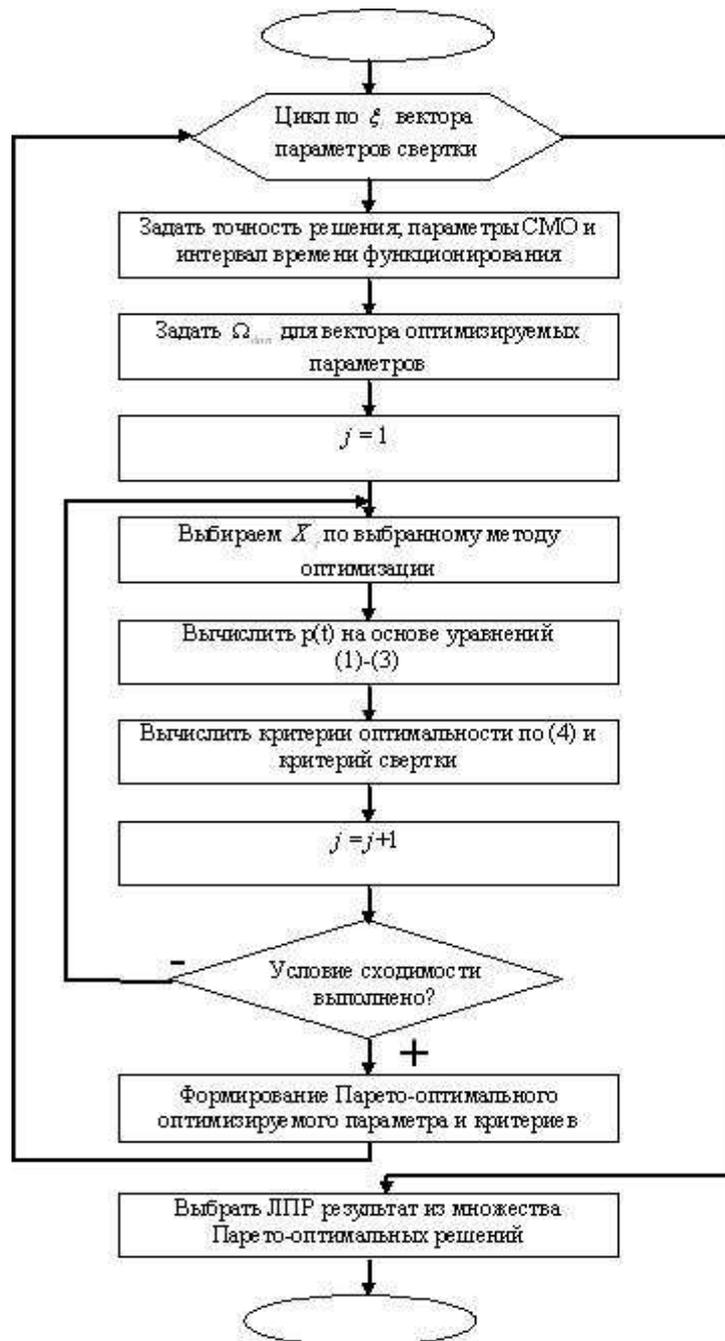


Рис. 1. Алгоритм векторного управления процессами мелкосерийного производства

Разработка автоматизированной системы управления загрузкой оборудования

Логическая и физическая структура базы данных определяется информационными потребностями проекта. При ее разработке выделяются основные информационные сущности предметной области,

выявляются связи между ними. ER-диаграмма (структурная схема) разрабатываемой базы данных представлена на рис. 2.

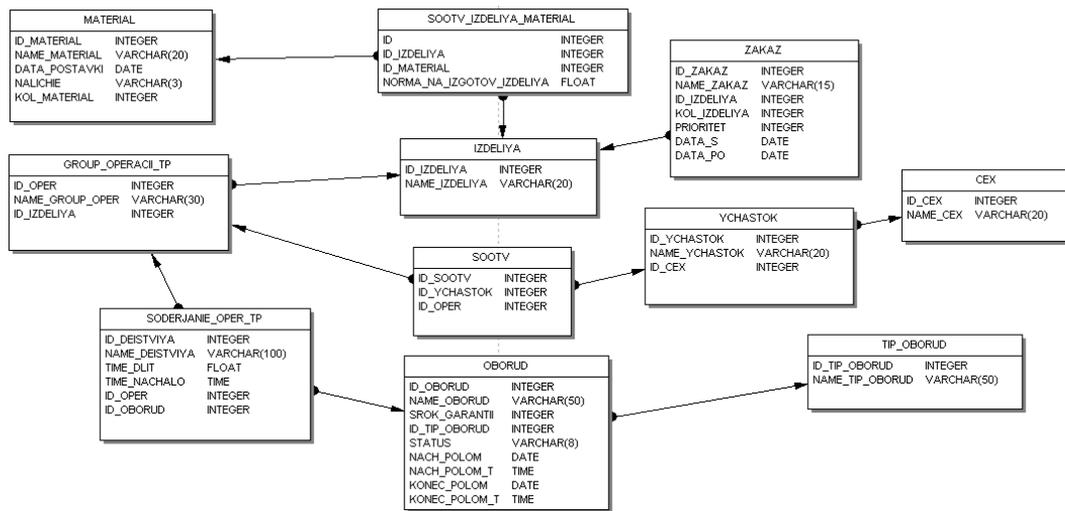


Рис. 2. ER-диаграмма структуры базы данных

Поскольку создаваемая автоматизированная система предназначена для работы одновременно с несколькими пользователями, которые физически могут находиться в разных местах, разработанный программный продукт, реализующий данную автоматизированную систему управления, должен быть построен по клиент-серверной архитектуре.

Автоматизированная система разработана с применением объектно-ориентированного языка программирования Delphi (производный от Object Pascal) и СУБД Firebird. Система предназначена для использования под операционной системой Windows версий 98/2000/XP/Vista/7. Для функционирования системы требуется установленный сервер баз данных Firebird версии 2.0.

В программе осуществляется работа 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 из соответствующих отделов (подразделений) предприятия (отдел оборудования и ремонта, бюро оснастки, отдел главного конструктора и т.д.), если позволяют технические средства.

При разработке системы необходимо учитывать следующие условия [5; 6]:

- 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 выполнения операции O_i на оборудовании m ; $T_{O_{im}}$ – время выполнения операции O_i на оборудовании m ; $t_{O_{im}}^{кон}$ – момент окончания выполнения операции O_i на оборудовании m .

- Условие, когда выполнение следующей операции по обработке изделия при последовательном виде движения не может начаться раньше, чем завершится выполнение 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 нет смысла добиваться строгой аналитической формулировки некоторых ограничений, особенно отражающих динамические зависимости, так как алгоритмическое соблюдение приведенных выше ограничений не вызывает никаких затруднений.

Таким образом, задача заключается в том, чтобы для производственного пред-

приятия с заданными маршрутами обработки изделий построить такой вариант управления, который удовлетворял бы заданным условиям и ограничениям и был наиболее близок к выбранному критерию оптимальности.

На рис. 3 в качестве примера представлена временная диаграмма операций (действий) изготовления изделия П05-01. Процесс изготовления данного изделия состоит примерно из 40 операций, поэтому он является подходящим в качестве тестового примера.

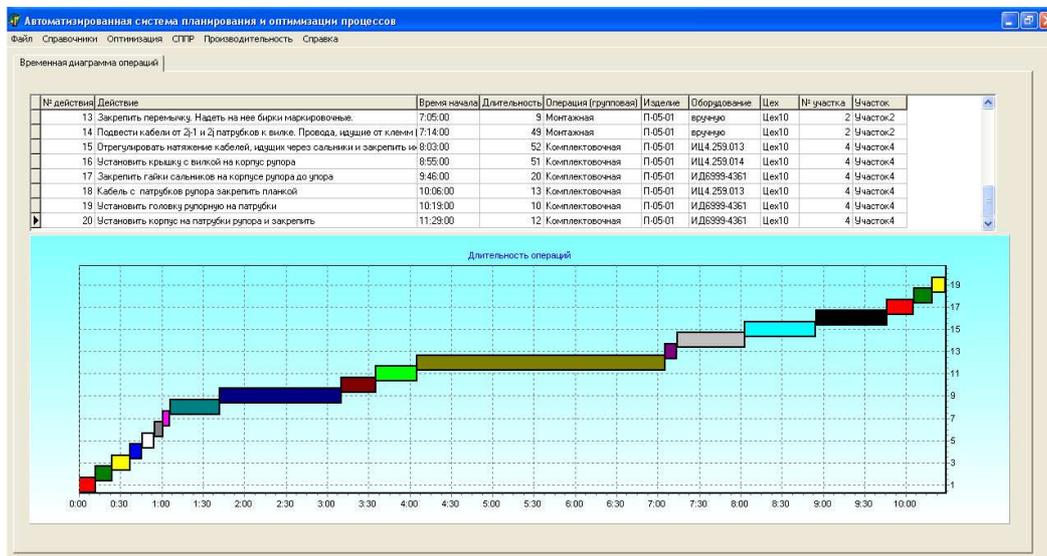


Рис. 3. Временная диаграмма операций (действий) изготовления изделия

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. 4 представлена форма программы сформированного плана загрузки оборудования на одной поточной линии. Под поточной линией понимается комплекс оборудования, взаимосвязанного и работающего согласованно с заданным ритмом по единому производственному процессу.

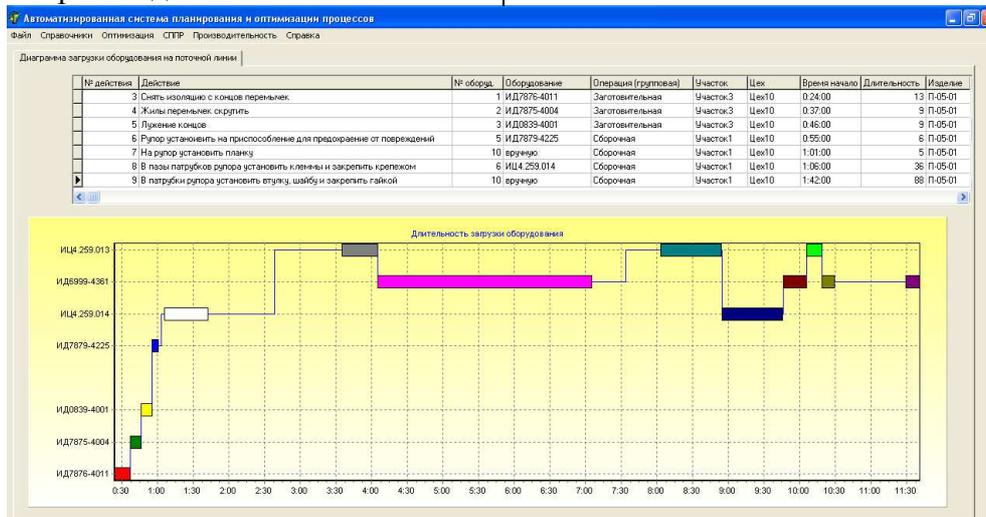


Рис. 4. Форма программы сформированного плана загрузки оборудования на одной поточной линии

В статье представлены следующие функции для работы с программой:

- возможность масштабирования диаграммы Ганта с помощью скролла мыши;
- возможность ручной корректировки длительности операций при изготовлении изделия (рис. 5);
- возможность смещения времени начала и завершения операции (рис. 5);

– возможность переноса (корректировки) процесса изготовления с одного оборудования на другое (рис. 5).

На рис. 5 представлен процесс перемещения действия №8 ТП с линии обработки ИЦ4.259.014 на линию ИД7879-4225 и увеличение длительности операции с 36 до 126 минут, а также смещение времени начала операции №8 с 01:06:00 к 01:36:00.

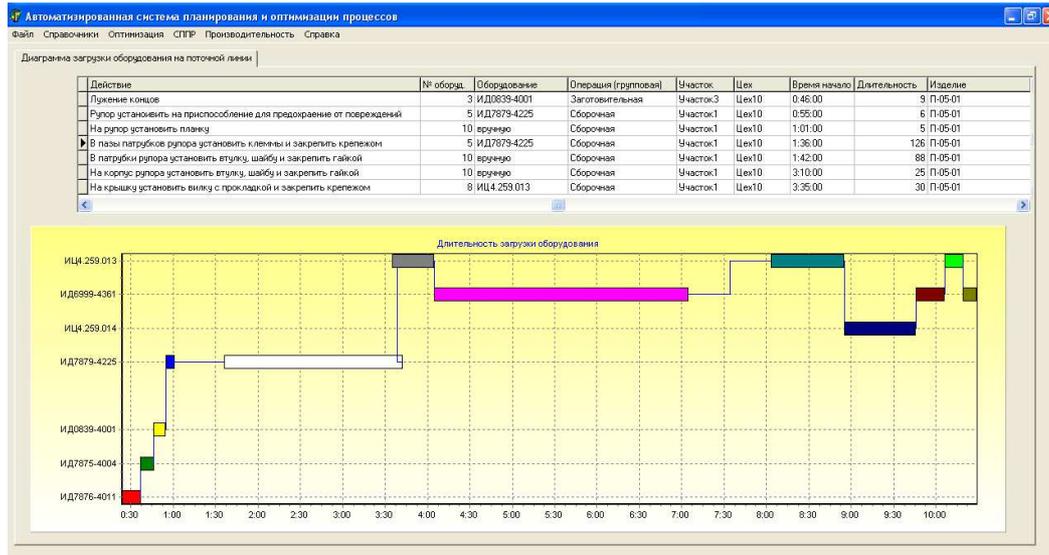


Рис. 5. Корректировка параметров операции процесса изготовления изделия

В программе реализована возможность формирования диаграммы Ганта для всей партии изделий. Для этого из таблицы заказов считываются данные о количестве изделий в партии и строится многофазная

система. Для простоты понимания и наглядности изображения на рис. 6 представлен процесс изготовления партии из 6 изделий.

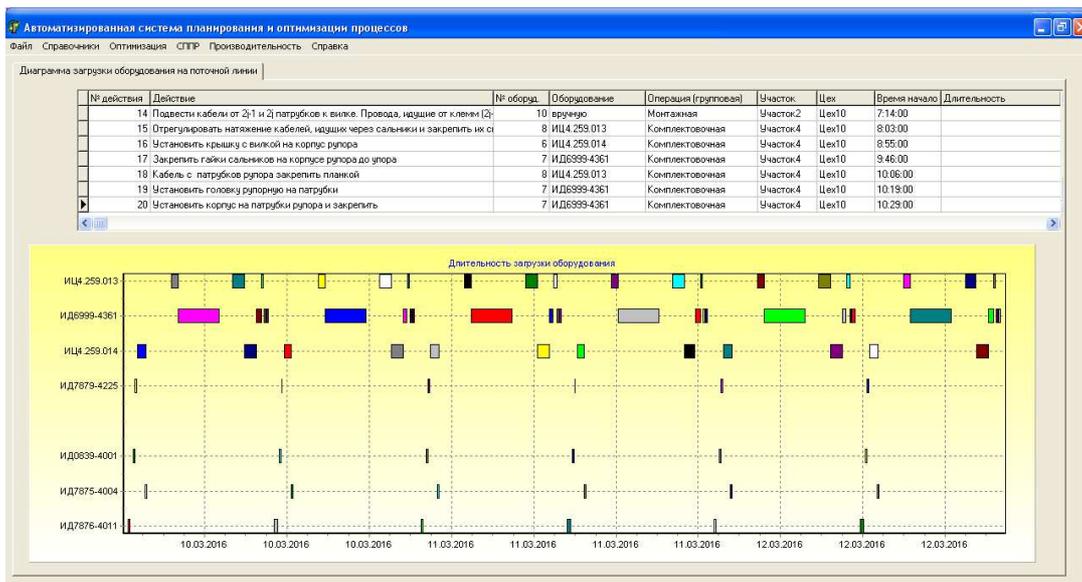


Рис. 6. Процесс изготовления партии изделий

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 неисправно, то программой выдается соответствующее предупреждение.

Разработанная автоматизированная система загрузки оборудования учитывает

ситуации ремонта или поломки оборудования. Например, в связи нахождением оборудования №2 ИД7875-4004 в ремонте необходимо перенести выполнение операции на другое время, не противоречащее ходу процесса производства, или на другое идентичное оборудование. На рис. 7 показан процесс переноса выполнения операции №4 на оборудовании №2 ИД78575-4004 на время 01:37:00.

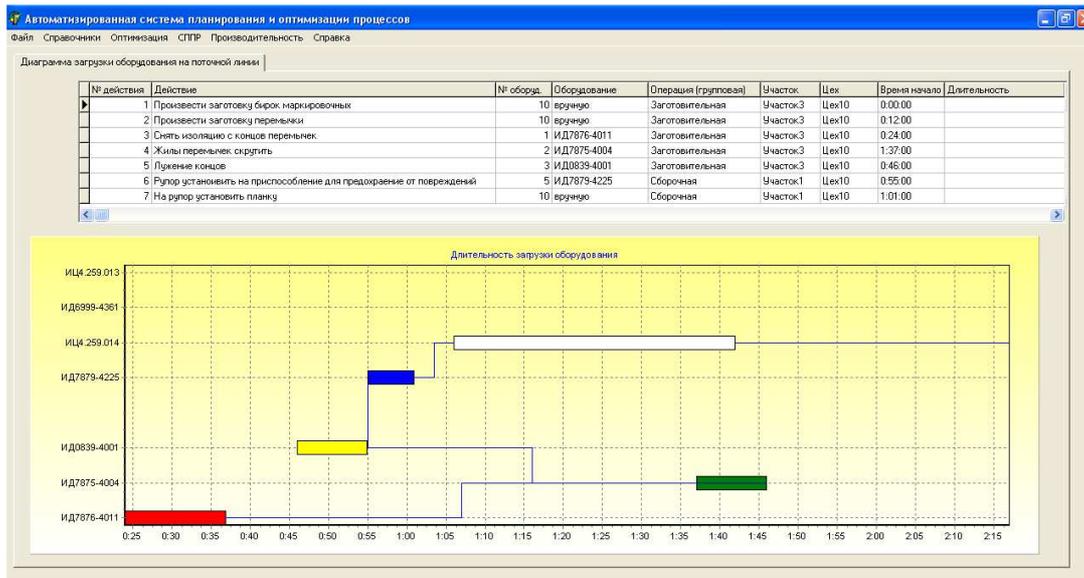


Рис. 7. Перенос операции при изготовлении изделия в связи с поломкой оборудования

Разработанная система позволяет оценить и скорректировать загрузку обо-

рудования по поточным линиям и временным интервалам.

Заключение

Итак, представлена разработка алгоритма и автоматизированной системы управления загрузкой оборудования в составе внешнего математического обеспечения информационно-управляющей системы промышленного предприятия. Разработка представляет собой программный модуль управления загрузкой оборудования по поточным линиям и временным интервалам.

С помощью разработанного алгоритма автоматизированной системы управления процессами 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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Догадина, Е.П. Математическая модель определения вероятностей состояний системы обслуживания / Е.П.Догадина, Ю.А.Кропотов, Г.П.Суворова // Радиотехника. - 2009. - № 11. - С. 103-105.
2. Догадина, Е.П. Функциональная модель управления производственными процессами с последовательной ячеистой структурой /

- Е.П.Догадина // Методы и устройства передачи и обработки информации. - 2011. - № 1. - С. 119-120.
3. Кропотов, Ю.А. Алгоритм подавления акустических шумов и сосредоточенных помех с формантным распределением полос режекции / Ю.А.Кропотов, А.А.Быков // Вопросы радиоэлектроники. - 2010. - Т. 1. - № 1. - С. 60-65.

4. Кропотов, Ю.А. Аппроксимация закона распределения вероятности отсчетов сигналов акустических помех / Ю.А.Кропотов, А.А.Быков // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. - 2011. - № 2. - С. 61.
5. Догадина, Е.П. Многокритериальное управление процессами мелкосерийного производства радиоэлектронной аппаратуры / Е.П.Догадина, А.Н.Коноплев // Методы и устройства передачи и обработки информации. - 2011. - № 1. - С. 121-123.
6. Догадина, Е.П. Программный комплекс автоматизации управления производственными процессами на базе стохастических методов локального поиска / Е.П.Догадина // Радиопромышленность. - 2012. - № 2. - С. 154-159.
7. Догадина, Е.П. Метод свертки критериев при представлении оптимизируемого параметра в качестве вектора / Е.П.Догадина, А.Н.Коноплев // В мире научных открытий. - 2010. - № 6.1 (12). - С. 53-54.
8. ГОЛЬФСТРИМ - MRP система автоматизированного управления производством. – URL: <http://gulfstream-mrp.ru/> (дата обращения: 30.10.2016).
9. APS планирование с системой Ortems. – URL: <http://www.ortems.ru> (дата обращения: 30.10.2016).
10. Products - Preactor International Limited - A Siemens. – URL: <http://www.preactor.com/Products.aspx#.WCV0trd28A> (дата обращения: 30.10.2016).
11. Ермолаев, В.А. Метод интерполяционной фильтрации в задачах обработки речевых сигналов во временной области / В.А.Ермолаев, О.Е.Карасев, Ю.А.Кропотов // Вестник компьютерных и информационных технологий. - 2008. - № 7. - С. 12-17.
12. Ермолаев, В.А. Идентификация моделей дискретных линейных систем с переменными, медленно изменяющимися параметрами / В.А.Ермолаев, В.Т.Ерёменко, О.Е.Карасев, Ю.А.Кропотов // Радиотехника и электроника. - 2010. - Т. 55. - № 1. - С. 57-62.
1. Dogadina, E.P. Simulator of probability definition for service system states / E.P.Dogadina, Yu.A.Kropotov, G.P.Suvorova // *Radio Engineering*. - 2009. - № 11. - pp. 103-105.
2. Dogadina, E.P. Functional model of control of production processes with successive cellular structure / E.P.Dogadina // *Methods and Devices for Information Transfer and Processing*. - 2011. - № 1. - pp. 119-120.
3. Kropotov, Yu.A. Algorithm for suppression of acoustic noises and lumped noises with formant distribution of rejection bands / Yu.A.Kropotov, A.A.Bykov // *Radio Electronics Problems*. - 2010. - Vol. 1. - № 1. - pp. 60-65.
4. Kropotov, Yu.A. Approximation of law in probability distribution of signal count of acoustic noise / Yu.A.Kropotov, A.A.Bykov // *Radio Engineering and Telecommunication Systems*. - 2011. - № 2. - pp. 61.
5. Dogadina, E.P. Multi-criterion control in processes of electronics small-lot production / E.P.Dogadina, A.N.Konoplyov // *Methods and Devices for Information Transfer and Processing*. - 2011. - № 1. - pp. 121-123.
6. Dogadina, E.P. Program complex for automation of production process control based on stochastic methods of local search / E.P.Dogadina // *Radio Industry*. - 2012. - № 2. - pp.154-159.
7. Dogadina, E.P. Method of criteria compression at presentation of optimized parameter as a vector / E.P.Dogadina, A.N.Konoplyov // *In the World of Scientific Discoveries*. – 2010. - № 6.1 (12). - pp. 53-54.
8. GULF STREAM - MRP System of Automated Production Control. – URL: <http://gulfstream-mrp.ru/> (access date: 30.10.2016).
9. APS Planning with System Ortems. – URL: <http://www.ortems.ru> (access date: 30.10.2016).
10. Products - Preactor International Limited - A Siemens. – URL: <http://www.preactor.com/Products.aspx#.WCV0trd28A> (access date: 30.10.2016).
11. Yermolayev, V.A. Method of interpolation filtration in problems of speech signal processing in temporal area/ V.A.Yermolayev, O.E.Karasyov, Yu.A.Kropotov // *Bulletin of Computer and Information Techniques*. - 2008. - № 7. - pp. 12-17.
12. Yermolayev, V.A. Identification of models discrete linear systems with variables, slowly changing parameters / V.A.Yermolayev, V.T.Yeryomenko, O.E.Karasyov, Yu.A.Kropotov // *Radio Engineering and Electronics*. - 2010. - Vol. 55. - № 1. - pp. 57-62.

Статья поступила в редколлегию 21.11.2016.

Рецензент: д.т.н., профессор
Владимирского государственного университета
Жизняков А.Л.

Сведения об авторах:

Догадина Елена Петровна, к.т.н., доцент кафедры ЭиВТ Муромского института (филиала) Владимирского государственного университета им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, тел.: (49234) 77-2-72, e-mail: delena86@yandex.ru.

Кропотов Юрий Анатольевич, д.т.н., профессор, зав. кафедрой ЭиВТ Муромского института (филиала) Владимирского государственного уни-

верситета им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, тел.: (49234) 77-2-72, e-mail: kaf-eivt@yandex.ru.

Холкина Наталья Евгеньевна, доцент кафедры ЭиВТ Муромского института (филиала) Владимирского государственного университета им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, тел.: (49234) 77-2-72, e-mail: kaf-eivt@yandex.ru.

Dogadina Elena Petrovna, Can. Eng., Assistant Prof. of the Dep. E&CE Murom Institute (Branch) of Stoletovs State University of Vladimir, Phone: (49234) 77-2-72, e-mail: delena86@yandex.ru.

Kropotov Yury Anatolievich, D. Eng., Prof., Head of the Dep. E&CE Murom Institute (Branch) of Sto-

letovs State University of Vladimir, Phone: (49234) 77-2-72, e-mail: kaf-eivt@yandex.ru.

Kholkina Nataliya Evgenievna, Assistant Prof. of the Dep. E&CE Murom Institute (Branch) of Stoletovs State University of Vladimir, Phone: (49234) 77-2-72, e-mail: kaf-eivt@yandex.ru.