

Лежебоков Андрей Анатольевич – e-mail: legebokov@gmail.com; кафедра систем автоматизированного проектирования; доцент.

Кравченко Юрий Алексеевич – e-mail: krav-jura@yandex.ru; кафедра систем автоматизированного проектирования; доцент.

Kuliev Elmar Valerievich – Southern Federal University; e-mail: ekuliev@sfedu.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371651; the department of computer aided design; assistant.

Lezhebokov Andrey Anatolievich – e-mail: legebokov@gmail.com; the department of computer aided design; associate professor.

Kravchenko Yury Alekseevich – e-mail: krav-jura@yandex.ru; the department of computer aided design; associate professor.

УДК 519.712.2

DOI 10.18522/2311-3103-2016-7-6273

Л.А. Гладков, Н.В. Гладкова, М.Ю. Лаврик

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ГИБРИДНЫХ ЭВОЛЮЦИОННЫХ МЕТОДОВ*

Рассматриваются методы решения задач планирования производственного процесса. Приведена классификация задач планирования. Перечислены основные типы задач планирования, предусматривающие составление планов на различные сроки. Подробно рассмотрена задача оперативного планирования производства. Определены задачи, которые необходимо решить в процессе планирования. Перечислены условия построения и решения задачи оперативного планирования. Приведен пример задачи построения графика выполнения производственного процесса. Показаны примеры отображения процесса решения в графическом виде. Сформулирована задача построения графика производственного процесса в терминах теории расписаний. Приведены основные критерии и ограничения, используемые при и решении задач производственного планирования. Сформулированы требования к набору входной информации, требуемой для успешного решения поставленной задачи. Выполнена математическая постановка задачи оперативного планирования производственного процесса. Сформулированы и описаны основные критерии оценки качества получаемых решений. Предложен генетический алгоритм поиска и оптимизации решений при построении графика производственного процесса. Приведено описание последовательности выполнения операций генетического алгоритма. В статье предложен новый гибридный метод решения задачи планирования, основанный на использовании генетических алгоритмов и модели нечеткого логического контроллера. Приводится описание используемых логическим контроллером правил, структуры предложенного алгоритма. Приведены примеры нечетких правил, используемых в гибридном алгоритме. Представлена структурная схема, разработанного гибридного алгоритма оперативного планирования производства. На основе предложенного алгоритма разработана программа решения задачи построения временного графика производственного процесса. Представлено краткое описание проведенных вычислительных экспериментов, подтверждающих эффективность предложенного метода.

Временной график производственного процесса; оперативное планирование; эволюционные вычисления; нечеткие генетические алгоритмы; нечеткий логический контроллер.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 16-01-00715.

L.A. Gladkov, N.V. Gladkova, M.Y. Lavrik

SOLVING OF TASKS OF PRODUCTION PLANNING BASED ON HYBRID EVOLUTIONARY METHODS

The paper considers methods for solving problems of planning of the production process. Classification of scheduling problems. We list the main types of planning tasks, enabling the development of plans for different periods. Considered in detail the problem of operational production planning. Identified challenges that need to be addressed in the planning process. The conditions of construction and operational planning problem solving. An example of a problem of construction schedule of the production process. Showing examples of display solutions in the process graphically. The problem of plotting the production process in terms of scheduling problems. The basic criteria and constraints used in the production planning and solving problems. The requirements to a set of input data required for the successful solution of the problem. A mathematical formulation of the problem of operational planning of the production process. Formulated and describes the main criteria for assessing the quality of the solutions. A genetic algorithm to search and optimization solutions in the construction schedule of the production process. A description of the sequence of execution of the genetic algorithm operations. plotting the manufacturing process. This paper proposes a new hybrid method for solving the planning problem based on genetic algorithms and fuzzy logic controller models. The description used by PLC rules, the structure of the proposed algorithm. Examples of fuzzy rules used in the hybrid algorithm. The block diagram of the hybrid algorithm developed operational planning of production. Based on the proposed algorithm, developed a program for solving the problem of construction time schedule of the production process. A brief description of computational experiments confirming the effectiveness of the proposed method.

The time schedule of production; operational planning; evolutionary computations; fuzzy genetic algorithms; fuzzy logic controller.

Введение. На предприятиях, ориентированных на массовое производство, регулярно возникают ситуации, когда в одно и то же время оборудование попеременно используется для производства различной продукции по разным технологиям. И в этом случае встает задача планирования производственных операций по изготовлению продукции на имеющемся оборудовании с заданными ограничениями на каждое задание или партию.

Применение эффективных методологий управления и планирования производственных процессов дает существенную выгоду без привлечения дополнительных инвестиций. Большинство существующих методологий заложено в функциональность современных информационных систем. Среди подобных систем наибольшую популярность имеют платформы ERP-класса, покрывающие существенный объем задач планирования и управления ресурсами. Исключением, пожалуй, составляют уровни оперативного планирования производства и некоторые задачи управления цепочками поставок (SCM), автоматизация которых, как правило, осуществляется с помощью специализированных приложений. Вместе с тем, уровень оперативного планирования непосредственно определяет сценарий работы производящих цехов и играет важную роль в формировании адекватных задачам предприятия исполнимых производственных планов.

Однако не всегда возможно применить существующий на рынке программный продукт в каждом конкретном случае. Прежде всего, проблемы, связанные с внедрением того или иного решения обуславливаются спецификой производственной отрасли, а зачастую и особенностями конкретного предприятия. Нельзя гарантировать, что уникальные аспекты, присущие производственному процессу или сложившимся традициям управления предприятия, не станут ключевыми нюансами при анализе бизнес процессов планирования отдельно взятого производства. Поэтому предусмотреть и заложить изначально в автоматизированную систему исчерпывающий набор ограничений, отражающих всю специфику той или иной

отрасли, не предоставляется возможным. Игнорирование ограничений или же заведомое упрощение модели процесса приводит к получению невыполнимого плана в реальных производственных условиях, что в свою очередь сводит на нет результаты, полученные при помощи средств автоматизации. Таким образом, поиск адекватных решений для автоматизации бизнес процессов оперативного планирования не теряет актуальности на сегодняшний день.

Описание проблемы. Планирование в широком смысле можно определить как распределение ресурсов для задач с течением времени, при этом стремясь оптимизировать predetermined показатель производительности. С точки зрения планирования производства, ресурсами и задачами обычно являются машины и рабочие места, а чаще всего используемым показателем производительности является срок выполнения заданий [1–5]. По срокам можно выделить следующие категории планирования (рис. 1):

- ◆ перспективное;
- ◆ текущее;
- ◆ оперативно-производственное.



Рис. 1. Виды планирования на предприятии

Перспективное планирование по сути базируется на прогнозировании. При помощи его прогнозируются будущая потребность в новых типах продукции, сбытовая и товарная стратегия предприятия по множеству рынков сбыта и т.д. Перспективное планирование, как правило, подразделяется на среднесрочное планирование (3–5 лет) и на долгосрочное (10–15 лет) планирование [6, 7].

Долгосрочный план имеет программно-целевое направление. В нем организуется финансовая стратегия деятельности предприятия на длительный срок, учитывая возможность расширения действующих границ рынков сбыта и освоения новых. План имеет ограниченное число показателей. Задачи и цели перспективного долгосрочного плана определяются при среднесрочном планировании. Объектами среднесрочного планирования считаются: капитальные вложения, доля рынка потребности в финансовых средствах, производственные мощности, организационная структура, исследования и разработки и т.п. На данный момент сроки разработки и исполнения планов не несут обязательный характер, и, как правило, предприятия составляют долгосрочные планы сроком на 5 лет, а среднесрочные – на 2–3 года.

Годовое, или текущее, планирование вырабатывается в масштабе средне-срочного плана и конкретизирует его показатели. Структура текущего планирования зависит от объекта, как правило, выделяют 3 типа: заводское, цеховое и бригадное.

Оперативно-производственное планирование формирует цели текущего годового плана для более коротких отрезков времени (месяц, декада, смена, час) и для отдельных производственных подразделений (цех, участок, бригада, рабочее место). Благодаря такому плану достигается ритмичный выпуск продукции и равномерная работа предприятия и доведение плановых заданий до непосредственных исполнителей (рабочих). Оперативно-производственное планирование разделяют на внутрицеховое, межцеховое и диспетчирование. Заключительным этапом заводского этапа данного вида планирования является сменно-суточное планирование [6, 7].

Планирование производства в данном случае рассматривается как задача оперативного планирования, и встречается во многих видах производства. Эта проблема широко исследуется с начала 1950-х годов.

Оперативное детальное производственное планирование создается с целью распределения и упорядочивания деталей операций по группам в партиях запуска или конкретным элементам технического оборудования, тем самым создав возможность ежедневного исполнения планов запуска в производство и выпуска готовых единиц заказчиком.

Разнообразие условий производства порождает множество подходов к решению задач оперативного планирования. Не исключены ситуации, когда на одном предприятии в разных цехах производства используются совершенно разные алгоритмы оперативного планирования. Таким же образом и критерии качества плановых заданий могут различаться у разных предприятий и подразделений одного завода.

Оригинальность и новизна исследования заключается в разработке методов и модели, расширяющих возможности информационных систем планирования, учет отраслевой специфики технологических и производственных процессов, использование гибридных интеллектуальных подходов и моделей.

Постановка задачи. В рассматриваемом масштабе оперативное планирование производства сводится к задаче теории расписаний, для решения которой необходимо:

- ◆ определить исполнителей для всех заданий;
- ◆ составить график выполнения заданий каждым исполнителем, т.е., найти лучшую последовательность выполнения производственных заданий при соблюдении имеющихся ограничений.

При этом допускается, что последовательность выполнения отдельных работ не имеет значения. Кроме того, имеют место следующие допущения:

- ◆ работы, требующие выполнения установлены и определены полностью, все они должны быть выполнены в полном объеме, без исключений;
- ◆ строго определены типы и число станков, выделенных для осуществления заданных работ;
- ◆ известен перечень всех необходимых действий, возможных в процессе выполнения задания, и заданы необходимые ограничения, регламентирующие порядок их исполнения. Также предполагается, что существует, как минимум, один станок в перечне имеющегося оборудования, на котором возможно выполнить определенную часть задания [8].

Проблема оперативного планирования является классической NP-полной задачей, которые, как известно, трудно решить даже при относительно малом объеме входных данных. Поэтому разработка эффективных алгоритмов ее решения остается актуальной.

Планирование производства определяется как задача распределения машин в течение некоторого времени для выполнения работ. Задача планирования $m \times n$ представляет из себя проблему, при которой множество n работ должны быть выполнены на множестве машин m . Каждая работа состоит из цепочки операций, каждая из которых требует определенного времени обработки на конкретной машине.

Например, задача планирования производства из 6 технологических операций на 3 станках может быть записана в виде следующей таблицы (табл. 1).

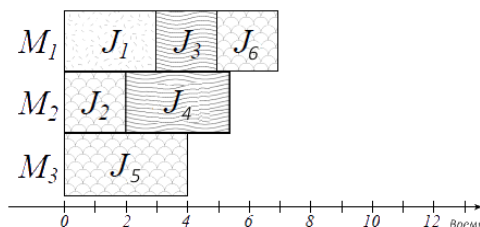
Данная задача может быть описана набором заданий n , выполняемых на наборе машин (станков) m . Каждое задание имеет технологическую последовательность из различных типов машин, на которых оно будет выполняться. Выполнение задания J_j на машине M_r называется выполнением операции O_{jr} . Операция O_{jr} требует эксклюзивных прав на использование машины M_r на непрерывный срок p_{jr} (время его выполнения). Расписание – набор времени выполнения каждой операции $\{C_{jr}\}$ $1 \leq j \leq n$, $1 \leq r \leq m$, удовлетворяющий заданным ограничениям. Время, требующееся для выполнения всех заданий, называется периодом изготовления L . Целью, обозначенной при решении данной проблемы, является минимизация периода изготовления L [9].

Таблица 1

Исходные данные задачи планирования 6×3

Операции	1 машина (мин.)	2 машина (мин.)	3 машина (мин.)
1	15	25	20
2	15	10	30
3	10	15	5
4	25	20	15
5	30	20	18
6	12	15	20

На рис. 2 приведен пример решения задачи планирования производства размера 6×3 .

Рис. 2. Визуализация решения задачи размера 6×3

Задача построения графика производственного процесса также может быть представлена в виде ориентированного графа $G = (V, C \cup D)$, где V – набор узлов, представляющих набор технологических операций. Кроме того выделяют два специальных узла: начальный (source, обозначаем как 0) и конечный (sink, *); C – набор дуг, обозначающих последовательность выполнения операций [9].

Возле каждого узла обозначено время выполнения данной операции. На рис. 3 показан граф, отражающий вышеупомянутую задачу размера проблемы 6×3 (см. рис. 2). Здесь через O_{ij} обозначается i -я операция на j -й машине; P_{ij} – время, необходимое для выполнения операции O_{ij} .

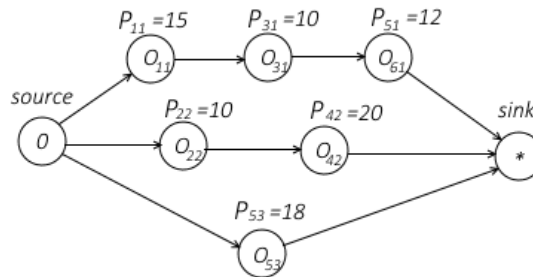


Рис. 3. Представление задачи размера 6×3 в виде ориентированного графа

В некоторых случаях выполняемые работы обладают разной важностью при производстве, поэтому вводят специальную величину u_i – вес операции или приоритет, отражающий относительную важность задания.

Для каждой машины (линии) задается матрица времени $P[i][j]$ – время, необходимое для перенастройки оборудования машины после выполнения i -го задания до начала выполнения задания j .

Основным критерием является выполнение производственных заданий точно в срок с минимизацией запаздывания и опережения (“Just in Time”). Этот термин применяется по отношению к промышленным системам, в которых время и место прибытия и убытия готовых изделий в процессе производства строго спланированы во времени – так, что на каждом этапе процесса производства следующая партия изделий поступает для обработки именно в тот момент, когда предыдущая партия завершена. В результате получается система, в которой отсутствуют пассивные единицы, незадействованные и ожидающие обработки, а также простаивающее оборудование, ожидающие изделия для обработки.

В качестве входной информации для решения задачи планирования производства задают:

- ◆ набор машин (станков), на которых будут выполняться операции;
- ◆ набор заданий на выполнение (каждое задание состоит из множества операций, которые могут быть выполнены только на определенном типе оборудования);
- ◆ для каждой операции – время, за которое она может быть выполнена на каждой машине;
- ◆ набор временных ограничений на задания (например, к какому времени они должны быть выполнены).

Планирование усложняется за счет того, что каждая операция выполняется за разное время на разных машинах. Каждое i -ое задание характеризуется:

- ◆ вектором m ($m[j]$ – время выполнения задания i на машине j без учета переналадки оборудования).
- ◆ моментом появления готового к выполнению задания r в системе (или минимально возможное время начала первой операций i -го задания);
- ◆ величиной планового (директивного) срок исполнения. Эта величина определяет момент, к которому i -е задание должно быть выполнено. Другими словами, d_i представляет собой директивное время завершения последней операции i -го задания. Ее значение определяется внешними условиями, не рассматриваемыми в рамках данной задачи;

- ◆ моментом окончания (T) задания i , т.е. моментом завершения последней операции;
- ◆ приоритетом задания, т.е. величиной, определяющей относительную важность задания.

Временное смещение L_i работы i равно $L_i = T_i - d_i$.

Запаздывание Z_i и опережение E_i работы i рассчитывается следующим образом:

$$E_{i1} = \max(0; -L_{i1}).$$

Задача заключается в построении графика выполнения последовательности n операций на m машинах с оптимизацией следующих условий:

Минимизация отклонений от графика – подсчитывается, путем суммирования времени запаздывания каждой операции на машинах, при этом учитывается момент поступления для каждой операции и директивный срок ее выполнения:

$$F(i) = \sum_{k=1}^{P_s} z_k u_k,$$

где $F(i)$ – значение целевой функции для i -й хромосомы; P_s – величина, определяющая количество операций; Z_k – время запаздывания для k -й операции; u_k – приоритет k -й операции.

Достижение максимальной равномерности загрузки – оценивается на основе среднего времени выполнения всех операций на машинах.

$$F(i) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n T_j, \quad j = 1, \dots, n,$$

где $F(i)$ – значение целевой функции i -й хромосомы; T_j – время выполнения всех операций на машине j ; n – количество машин.

На выходе должно быть получено расписание, содержащее для каждого задания времени начала и конца его выполнения, а также номер машины (линии), на которой оно будет выполняться [9].

Описание алгоритма. Последовательность выполнения генетического алгоритма построения графика производственного процесса можно записать в следующем виде [10–17]:

1. Формируется начальная популяция с использованием стратегии “дробовика”; вводятся исходные данные, такие как начальная вероятность кроссинговера (P_c), начальная вероятность мутации (P_m), шаг изменения вероятности ГО для НЛК, размер популяции и количество поколений (T), набор машин и операций с матрицей времени выполнения операций для каждой машины и времени перенастройки машин.

2. Рассчитывается целевая функция каждой хромосомы начальной популяции.

3. Задается счетчик итераций (поколений), начальное значение которого равно нулю.

4. Выполняется селекция, посредством которой хромосомы (альтернативные решения), имеющие более высокое значение целевой функции, отбираются для дальнейшего применения на них генетических операторов.

5. Случайная пара хромосом скрещивается путём применения циклического оператора кроссинговера с текущей вероятностью.

6. С текущей вероятностью родительские хромосомы, или их части, преобразуются оператором мутации для создания хромосом потомков. В данном алгоритме использованы мутация обмена, двухточечная мутация и инверсия.

7. Производится перерасчет значений целевой функции для всех решений.

8. Выполняется оператор редукции для сокращения размерности популяции до изначального значения, посредством исключения неудачных решений из популяции.

9. Проверка условия останова. В случае, если условие не выполнено, то счетчик итераций (поколений) увеличивается и алгоритм переходит к п. 4. Если же условие останова выполнено, то алгоритм прекращает работу.

Нечеткий логический контроллер реализует правила, по которым изменяются параметры генетического алгоритма для того, чтобы избежать преждевременной сходимости [18–20]. Эти правила оперируют некоторыми характеристиками популяции, такими, например, как:

1) разнообразие фенотипа VF [0, 1]. Фенотип особи – это значение ее функции пригодности. Разнообразие фенотипа определяется отношением между лучшим и средним значениям целевой функции решений текущей популяции;

2) скорость роста среднего значения функции пригодности по популяции – SA [0, 1]. По данному параметру можно получить представление о том, насколько быстро происходит развитие особей в популяции. Определяется отношением между средними значениями целевой функции текущей и предыдущей популяции.

Изменение параметров генетического алгоритма происходит в соответствии некоторыми нечеткими правилами. Задается некоторое граничное значение (GAP), которое должно быть относительно низким. Смысл заключается в установлении предела, сравнивая с которым нечеткий контроллер определяет, как быстро растет функция пригодности. В нашем алгоритме значение GAP равно 5 %.

Приведем примеры нечетких правил, используемых в гибридном алгоритме:

ЕСЛИ (VF МЕНЬШЕ GAP И SA МЕНЬШЕ GAP), ТО Увеличить вероятность мутации, уменьшить вероятность кроссинговера, тип мутации – мутация обмена,

ЕСЛИ (VF МЕНЬШЕ GAP И SA БОЛЬШЕ GAP), ТО Увеличить вероятность мутации, Тип мутации меняется на двухточечную,

ЕСЛИ (VF БОЛЬШЕ GAP И SA МЕНЬШЕ GAP), ТО Увеличить вероятность мутации, Увеличить вероятность кроссинговера, Тип мутации меняется на двухточечную.

ЕСЛИ (VF БОЛЬШЕ GAP И SA БОЛЬШЕ GAP), ТО Уменьшить вероятность мутации, Увеличить вероятность кроссинговера, Тип мутации меняется на двухточечную.

Блок НЛК выполняется после всех генетических операторов, анализирует результат их работы, и в зависимости от результатов этого анализа производит корректировку параметров ГА. Структура гибридного алгоритма решения задачи оперативного планирования производства представлена на рис. 4.

Результаты экспериментов. Разработанный гибридный алгоритм оперативного планирования производства реализован в виде программного продукта, написанного на языке программирования C++ в среде программирования Borland C++ Builder. Разработанное приложение ориентировано на работу с операционными системами семейства Windows.

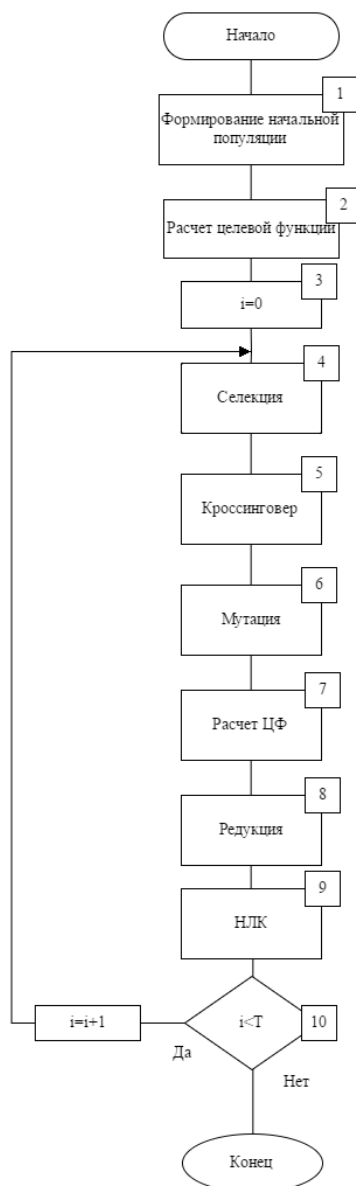


Рис. 4. Структура гибридного алгоритма

Были проведены серии экспериментов, с целью сравнения эффективности разработанного алгоритма с использованием НЛК и без него. Результаты представлены на рисунке 5. Как видно из графика при использовании НЛК мы получили значительное улучшение работы алгоритма. В среднем, значение целевой функции по результатам пяти экспериментов уменьшилось на 26,7 %.

Заключение. Рассмотрена задача построения графика выполнения производственного процесса. Выполнена математическая постановка задачи построения графика производственного процесса в терминах теории расписаний. Предложен гибридный генетический алгоритм поиска и оптимизации решений при построении графика производственного процесса.

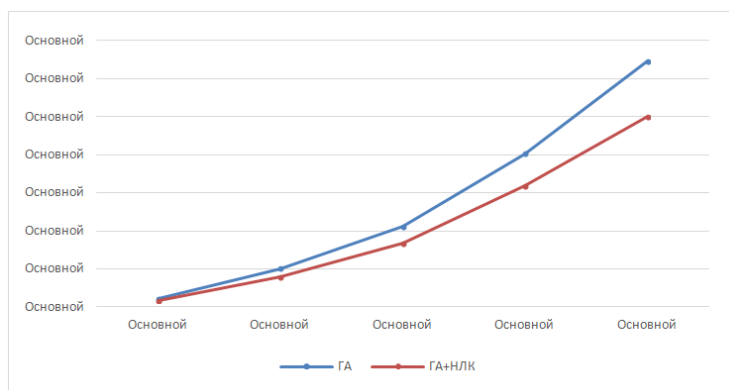


Рис. 5. График сравнения результатов работы алгоритма с НЛК и без него

Применен аппарат нечетких множеств, как основа для проведения более адекватной оценки и контроля текущего состояния процесса поиска оптимальных решений. Предложена система нечетких правил, позволяющих осуществлять динамическое регулирование параметров алгоритма. Реализованы специализированные операторы генетического поиска, учитывающие специфику задачи. Предложен гибридный поисковый алгоритм, сочетающий подходы нечеткого управления и эволюционные алгоритмы.

Результаты, показанные разработанным алгоритмом, подтверждают предположения о том, что использование НЛК позволяет улучшить качество получаемых решений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лазарев А.А., Гафаров Е.Р. Теория расписаний. Задачи и алгоритмы. – М.: Изд-во МГУ, 2011. – 222 с.
2. Тахонов И.И. Введение в теорию расписаний. – Новосибирск: Изд-во НГУ, 2011.
3. Гаврилова Т.А., Муромцев Д.И. Интеллектуальные технологии в менеджменте. – СПб.: Высшая школа менеджмента, 2008. – 498 с.
4. Кузнецов А.И., Колобов А.А., Омельченко И.Н. Технология бизнес-планирования. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 190 с.
5. Калянов Г.Н. Моделирование, анализ, реорганизация и автоматизация бизнес-процессов. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 240 с.
6. Высочин С.В. Принципы построения систем для расчета производственных расписаний // САПР и графика. – 2008. – № 9. – С. 57-59.
7. Организация и планирование машиностроительного производства / под ред. Ю.В. Скворцова, Л.А. Некрасова. – М.: Высшая школа, 2003. – 470 с.
8. Leung J.Y.T. Handbook of Scheduling // Boca Raton, Florida: Chapman & Hall/CRC, 2004.
9. Гладков Л.А. Гибридный генетический алгоритм решения задач оперативного производственного планирования // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 7 (132). – С. 35-42.
10. Cohoon J.P., Karro J., Lienig J. Evolutionary Algorithms for the Physical Design of VLSI Circuits. Advances in Evolutionary Computing: Theory and Applications, Ghosh, A., Tsutsui, S. (eds.) Springer Verlag, London, 2003. – P. 683-712.
11. Курейчик В.М., Курейчик В.В., Родзин С.И. Концепция эволюционных вычислений, инспирированных природными системами // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 4. – С. 16-25.
12. Кныш Д.С., Курейчик В.М. Параллельные генетические алгоритмы: Проблемы, обзор и состояние // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2010. – № 4 (93). – С. 72-82.
13. Курейчик В.М. Модифицированные генетические операторы // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 12 (101). – С. 7-15.

14. Громов С.А. Методы адаптивного и генетического поиска в оперативном планировании производства // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2011. – № 8. – С. 74-80.
15. Громов С.А. Интеллектуализация систем оперативного планирования производства // Сборник трудов VI Международной научно-практической конференции (Коломна, 16-19 мая 2011 г.). – М.: Физматлит, 2011. – Т. 2. – С. 588-598.
16. Громов С.А., Тарасов В.Б. Методы искусственного интеллекта в автоматизации оперативного планирования // Программные продукты и системы. – 2007. – № 4. – С. 89-92.
17. Громов С.А., Тарасов В.Б. Интегрированные интеллектуальные системы оперативного планирования производства // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 7 (120). – С. 60-67.
18. Гладков Л.А., Гладкова Н.В. Новые подходы к построению систем анализа и извлечения знаний на основе гибридных методов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 7 (108). – С. 146-154.
19. Гладков Л.А., Гладкова Н.В. Особенности использования нечетких генетических алгоритмов для решения задач оптимизации и управления // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 4 (93). – С. 130-136.
20. Gladkov L.A., Gladkova N.V., Leiba S.N. Manufacturing Scheduling Problem Based on Fuzzy Genetic Algorithm // Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2014). Kiev, Ukraine, September 26–29, 2014. – P. 209-213.

REFERENCES

1. Lazarev A.A., Gafarov E.R. Teoriya raspisaniy. Zadachi i algoritmy [The scheduling theory. Problems and algorithms]. Moscow: Izd-vo MGU, 2011, 222 p.
2. Takhonov I.I. Vvedenie v teoriyu raspisaniy [Introduction to the theory of schedules]. Novosibirsk: Izd-vo NGU, 2011.
3. Gavrilova T.A., Muromtsev D.I. Intellektual'nye tekhnologii v menedzhmente [Intelligent technologies in management]. St. Petersburg: Vysshaya shkola menedzhmenta, 2008, 498 p.
4. Kuznetsov A.I., Kolobov A.A., Omel'chenko I.N. Tekhnologiya biznes-planirovaniya [Technology business planning]. Moscow: MGTU im. N.E. Baumana, 2005, 190 p.
5. Kalyanov G.N. Modelirovanie, analiz, reorganizatsiya i avtomatizatsiya biznes-protsessov [Modeling, analysis, reorganization and automation of business processes]. Moscow: Finansy i statistika, 2006, 240 p.
6. Vysochin S.V. Printsipy postroeniya sistem dlya rascheta proizvodstvennykh raspisaniy [Principles of building systems to calculate production schedules], *SAPR i grafika* [CAD and Graphics], 2008, No. 9, pp. 57-59.
7. Organizatsiya i planirovanie mashinostroitel'nogo proizvodstva [Organization and planning of engineering production], ed. by Yu.V. Skvortsova, L.A. Nekrasova. Moscow: Vysshaya shkola, 2003, 470 p.
8. Leung J.Y.T. Handbook of Scheduling // Boca Raton, Florida: Chapman & Hall/CRC, 2004.
9. Gladkov L.A. Gibridnyy geneticheskiy algoritm resheniya zadach operativnogo proizvodstvennogo planirovaniya [Hybrid genetic algorithm of the decision of problems of operative industrial planning], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2012, No. 7 (132), pp. 35-42.
10. Cohoon J.P., Karro J., Lienig J. Evolutionary Algorithms for the Physical Design of VLSI Circuits. Advances in Evolutionary Computing: Theory and Applications, Ghosh, A., Tsutsui, S. (eds.) Springer Verlag, London, 2003, pp. 683-712.
11. Kureychik V.M., Kureychik V.V., Rodzin S.I. Kontseptsiya evolyutsionnykh vychisleniy, inspirirovannykh prirodnyimi sistemami [Concept evolutionary computation is inspired by natural systems], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2009, No. 4, pp. 16-25.
12. Knysh D.S., Kureychik V.M. Parallelnye geneticheskie algoritmy: Problemy, obzor i sostoyanie [Parallel genetic algorithms: Problem overview and state], *Izvestiya RAN. Teoriya i sistemy upravleniya* [Journal of Computer and Systems Sciences International], 2010, No. 4 (93), pp. 72-82.

13. Kureychik V.M. Modifitsirovannyye geneticheskie operatory [Modified genetic operators], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2009, No. 12 (101), pp. 7-15.
14. Gromov S.A. Metody adaptivnogo i geneticheskogo poiska v operativnom planirovaniy proizvodstva [Methods of adaptive and genetic search in operational planning production], *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building], 2011, No. 8, pp. 74-80.
15. Gromov S.A. Intelktualizatsiya sistem operativnogo planirovaniya proizvodstva [Intellectualization of systems of operative production planning], *Sbornik trudov VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Kolonna, 16-19 maya 2011 g.)* [Proceedings of the VI International scientific-practical conference (Barnaul, 16-19 may 2011)]. Moscow: Fizmatlit, 2011, Vol. 2, pp. 588-598.
16. Gromov S.A., Tarasov V.B. Metody iskusstvennogo intellekta v avtomatizatsii operativnogo planirovaniya [Artificial intelligence methods in the automation of operational planning], *Programmnye produkty i sistemy* [Software Products and Systems], 2007, No. 4, pp. 89-92.
17. Gromov S.A., Tarasov V.B. Integrirovannyye intellektual'nyye sistemy operativnogo planirovaniya proizvodstva [Integrated intelligent systems of production planning and scheduling], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2011, No. 7 (120), pp. 60-67.
18. Gladkov L.A., Gladkova N.V. Novyye podkhody k postroeniyu sistem analiza i izvlecheniya znaniy na osnove gibridnykh metodov [New approaches to construction of data mining systems on the basis of hybrid methods], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2010, No. 7 (108), pp. 146-154.
19. Gladkov L.A., Gladkova N.V. Osobennosti ispol'zovaniya nechetkikh geneticheskikh algoritmov dlya resheniya zadach optimizatsii i upravleniya [Features of use of fuzzy genetic algorithms for the decision of problems of optimisation and control], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2009, No. 4 (93), pp. 130-136.
20. Gladkov L.A., Gladkova N.V., Leiba S.N. Manufacturing Scheduling Problem Based on Fuzzy Genetic Algorithm, *Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2014). Kiev, Ukraine, September 26–29, 2014*, pp. 209-213.

Статью рекомендовала к опубликованию д.т.н., профессор Л.С. Лисицына.

Гладков Леонид Анатольевич – Южный федеральный университет; e-mail: leo@tgn.sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371625; кафедра САПР; доцент.

Гладкова Надежда Викторовна – тел.: 88634393260; кафедра ДМ и МО; старший преподаватель.

Лаврик Михаил Юрьевич – e-mail: miklavrik@gmail.com; студент.

Gladkov Leonid Anatol'evich – Southern Federal University; e-mail: leo@tgn.sfedu.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: 88634371625; the department of CAD; associate professor.

Gladkova Nadezhda Viktorovna – phone: +78634393260; the department of DM&MO; senior teacher.

Lavrik Mikhail Yur'evich – e-mail: miklavrik@gmail.com; student.