



# МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ЗАКАЗАМИ В РАМКАХ ЕДИНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДПРИЯТИЯ

В.И. Жирнов<sup>(1)</sup>, С.А. Федосеев<sup>(1)</sup>, А.И. Агарков<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Пермский государственный технический университет;

<sup>(2)</sup> ОАО «Рыбинсккабель», г. Рыбинск

Рассмотрена модель управления заказами как один из элементов системы управления на стратегическом уровне планирования производства. В рамках принятой модели предусмотрено решение двухкритериальной задачи дискретной оптимизации в нечеткой постановке. Приведен пример управления заказами, демонстрирующий возможности данной модели.

## ВВЕДЕНИЕ

Эффективное управление производственным предприятием невозможно без информационной системы. От ее качества, гибкости, предоставляемых возможностей для анализа текущего и прошлых состояний, прогнозирования будущего состояния рынка выпускаемой продукции и планирования производства этой продукции, во многом зависят устойчивость, получаемые прибыли и развитие предприятия в целом. Обычно всю систему управления предприятием разделяют на три структурных уровня [1, 2].

- *Уровень стратегического планирования.* Осуществляется сбор информации: прогнозирование, фильтрация и отбор заказов, анализ существующих мощностей и бизнес-целей производства. На основе собранной информации строится главный календарный план производства (ГКПП), который регламентирует «что?», «к какому сроку?» и «в каких количествах?» будет выпускаться в плановом периоде.
- *Уровень тактического планирования.* На основе составленного ГКПП и более детальной информации о производственных мощностях строится план-график производства, устанавливающий перечень, очередность и длительность операций на рабочих центрах в течение планового периода.

- *Уровень оперативного управления.* Из-за возникающих по разным причинам отклонений от составленного плана-графика производства производится его корректировка с учетом изменившихся условий, для чего служит модель оперативного управления. К данному уровню можно отнести также модели транспортных перевозок, ремонтных работ, складирования продукции и др.

На каждом уровне возникает ряд задач, для решения которых в данной работе предлагается использовать математические модели, основанные на теории активных систем и нечеткой логике [3] и позволяющие реализовать механизм обучения и самонастройки системы. Такой подход позволяет использовать накопленный опыт, получаемую информацию и принимать правильные управленческие решения как на соответствующем уровне планирования, так и с учетом интересов предприятия в целом. Рассмотрим структуру и модели стратегического уровня планирования, их назначение и взаимодействие между собой.

## 1. СТРУКТУРА И МОДЕЛИ СИСТЕМЫ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

Одна из основных целей планирования на предприятии состоит в получении план-графика производства, который определяет объем, после-

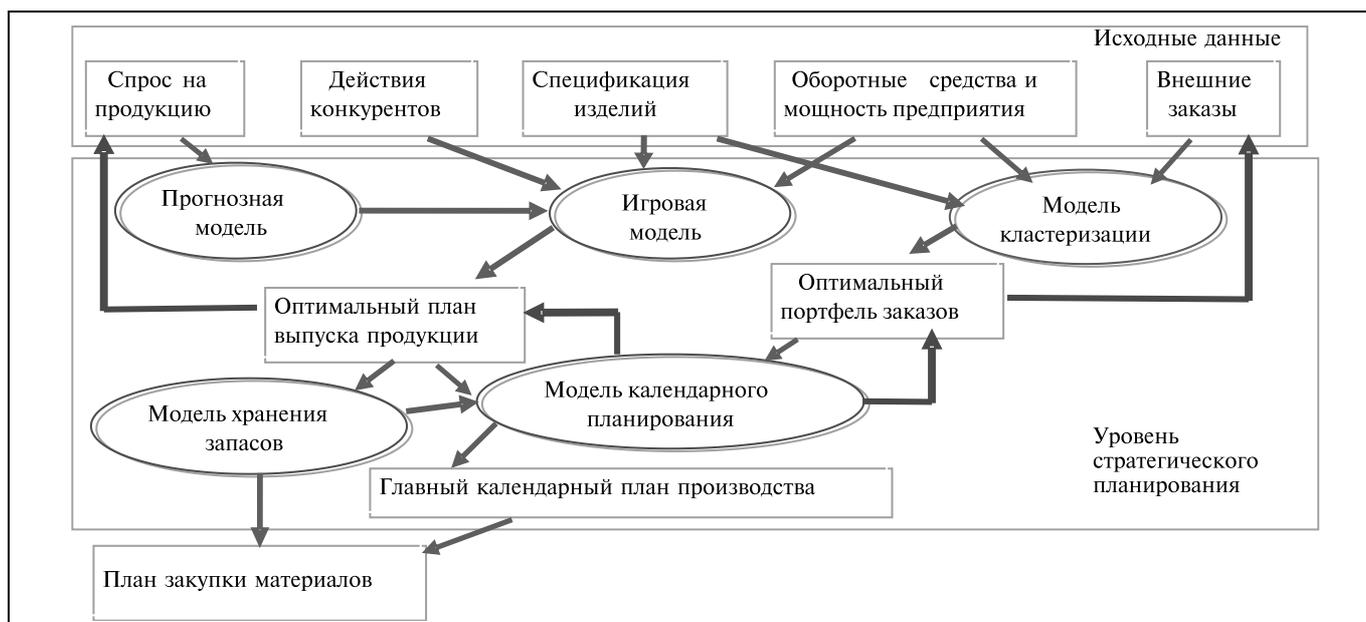


Рис. 1. Структурная схема системы стратегического планирования

довательность и длительность операций, распределенных по рабочим центрам. Задача составления такого плана принадлежит к классу NP-сложных, является многокритериальной и многопараметрической, и решить ее непосредственно за конечное время невозможно. Поэтому была предложена многоуровневая модель системы планирования [3]. Производится декомпозиция исходной задачи на более простые взаимосвязанные задачи, которые решаются на разных уровнях планирования.

На рис. 1 представлена структурная схема уровня стратегического планирования, результатом которого является ГКПП. От качества ГКПП зависит, насколько будут удовлетворены запросы клиентов, какова будет сумма штрафов по контрактам за невыполнение сроков поставки, придется ли хранить невостребованную продукцию на складе, какова будет упущенная прибыль, какую чистую прибыль получит предприятие, насколько будет удовлетворен спрос. Главный календарный план служит связующим звеном между производством и сбытом, поэтому при его составлении должны учитываться предпочтения, касающиеся размеров партий производимой продукции, важность некоторых заказов, а также возможные жесткие и нежесткие ограничения на материальные ресурсы, производственные мощности, оборотные средства и сроки поставки продукции клиентам.

Прогноз спроса и сбор заказов на продукцию на предприятии осуществляется в рамках подсистемы управления сбытом. Прогнозирование — одна из самых востребованных, но при этом и самых сложных задач анализа при стратегическом пла-

нировании. Проблемы, возникающие при ее решении, обусловлены многими причинами: недостаточными качеством и количеством исходных данных, изменением среды, в которой функционирует предприятие, воздействием субъективных факторов. Но именно качественный прогноз служит ключом к решению таких бизнес-задач, как оптимизация финансовых потоков, бюджетирование, оценка инвестиционной привлекательности предприятия и многих других. Задача прогнозирования в общем случае сводится к получению оценки будущих значений упорядоченных во времени данных на основе анализа уже имеющихся данных. Существуют различные алгоритмы поиска закономерностей в имеющихся данных. Для решения задач прогнозирования могут быть применены либо традиционные методы на основе регрессионного анализа, либо более тонкие методы, использующие вейвлеты или фракталы [4, 5]. Во многих современных информационных системах есть возможность построения прогнозов, но, как правило, в них закладываются простейшие линейные модели, основанные на временных рядах [4]. Такие модели позволяют получать прогнозы, но достаточно грубые, в частности и потому, что в них, как правило, не учитываются возможные действия конкурентов, а это может привести к производству невостребованной продукции и, как следствие, большим убыткам. Для преодоления подобного рода недостатков в информационную систему предприятия предлагается ввести модель, которая с помощью математического аппарата теории игр позволит предусмотреть возможные сценарии развития



событий и снизить возможные издержки при наихудшем сценарии и получить приемлемую прибыль в остальных случаях [6].

Многие предприятия для преодоления рисков, связанных с прогнозированием и выпуском невостребованной продукции, работают только по конкретным заказам, что позволяет экономить оборотные средства и гарантирует получение планируемой прибыли. Для предприятий, давно закрепившихся на рынке, объем заказов обычно превышает их производственные мощности, поэтому существует необходимость формирования оптимального портфеля заказов, который бы учитывал возможности производства, сроки заказов и прибыль, получаемую от их выполнения. Применение математических методов при формировании оптимального портфеля заказов позволит увеличить прибыль предприятия в целом, а также сократить число просроченных заказов, улучшив, таким образом, работу с клиентами, что также ведет к дальнейшему росту прибыли [7].

Предлагаемая структура стратегического уровня на каждом этапе реализует механизм дальновидной адаптации [8]. Реализация данного механизма основана на принципе незавершенности получаемых решений — решая поставленные задачи, мы получаем не одно оптимальное решение, а множество оптимальных по Парето решений, любое из которых можно использовать в качестве исходных данных для модели последующего уровня. Таким образом, в случае невозможности получить «хорошее» решение на каком-либо этапе не нужно решать повторно все задачи предыдущих уровней, а достаточно взять другое решение предыдущего уровня в качестве исходных данных. Отметим, что, если в моделях прогнозирования и формирования оптимального портфеля заказов основным критерием является прибыльность, то в модели формирования ГКПП основным критерием будет комфортность производства, а прибыльность будет выступать в качестве нежесткого ограничения, не позволяя существенно уменьшать прибыльность портфелей, полученных на предыдущем этапе. Таким образом, проведя декомпозицию задачи, можно разрешить конфликт между сбытом и производством, который возникает на любом производственном предприятии.

## 2. МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПОРТФЕЛЯ ЗАКАЗОВ

Необходимость в такой модели возникает, когда из большого числа контрактов нужно выбрать наиболее оптимальные в смысле прибыли предприятия при ограниченных производственных ресурсах. Модель позволяет значительно сократить число вариантов при последующем составлении

ГКПП, а также быстро получить некоторые приближенные оценки от включения либо исключения из набора той или иной позиции — т. е. позволяет экспертам «поиграть» с полученными наборами и увидеть последствия тех или иных действий. В результате определяется один или несколько оптимальных наборов заказов, поступивших от клиентов.

Предлагаемая модель рассматривается как модель поиска оптимального портфеля заказов (кластера), состоящего из множества партий готовой продукции (элементов). Оптимальность того или иного кластера определяется с помощью двух критериев: прибыльности и важности его элементов. Важным условием для предприятия можно считать выполнение клиентских заказов в срок. В этом случае загрузка мощностей производства не является критерием оптимальности, а выступает только в виде ограничения. Причем ограничения на мощности здесь учитываются интегрально для цехов или производственных участков. В модель включены также ограничение на оборотные средства и временные ограничения. Перечисленные ограничения рассматриваются в качестве предпочтений (нечетких ограничений) и при определенных условиях могут выйти за установленные рамки в разрешенных пределах [9]. При формировании портфеля, на основе анализа текущего состояния производства и учета внешних условий, необходимо указать важность каждого ограничения. Рассмотрим математическую постановку задачи кластеризации.

Пусть имеется  $N$  заказов. Введем булев вектор неизвестных  $\bar{\alpha} = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N)$ , где компонента  $\alpha_i$ ,  $i = \overline{1, N}$ , определяет включение  $i$ -го элемента в кластер по следующему правилу: если  $\alpha_i = 1$ , то элемент включается в кластер, если  $\alpha_i = 0$ , то элемент не включается в кластер. Тогда критерии могут быть записаны следующим образом:

- критерий прибыльности

$$\sum_{i=1}^N [\alpha_i q_i (c_i - c_i^*) - (1 - \alpha_i) F(D_i, \gamma)] \rightarrow \max, \quad (1)$$

где  $q_i$ ,  $c_i$  и  $c_i^*$  — соответственно объем, цена и себестоимость  $i$ -го элемента,  $F$  — функция штрафа,  $D_i$  — отклонение от требуемой даты выпуска,  $\gamma$  — интервал планирования [1];

- критерий важности

$$\sum_{i=1}^N \alpha_i V_i W_i \rightarrow \max, \quad (2)$$

где  $V_i$  — важность производства в срок  $i$ -го элемента,  $W_i$  — важность клиента, заказавшего  $i$ -й элемент.

Ограничения:

$$H\left[\left(\sum_{i=1}^N \alpha_i S_{ik}\right) / P_k, I_k\right] \geq 0, \quad k = \overline{1, M}, \quad (3)$$

$$H\left[\left(\sum_{i=1}^N \alpha_i q_i c_i^*\right) / \left(\frac{\Gamma \bar{C}}{T}\right), I_{M+1}\right] \geq 0, \quad (4)$$

$$\alpha_i D_i^{\text{бвп}} \in [0; 2\Gamma + \gamma], \quad i = \overline{1, N}, \quad (5)$$

где  $S_{ik}$  — требуемая потребность в мощностях  $k$ -го цеха при производстве  $i$ -го элемента;  $P_k$  — мощность  $k$ -го цеха;  $I_k$  — нечеткая переменная, характеризующая важность ограничения для  $k$ -го цеха;  $M$  — число цехов;  $\Gamma$  — горизонт планирования [1], т. е. временной промежуток, кратный интервалу планирования и на который формируется кластер;  $\bar{C}$  — оборачиваемость средств за период времени  $T$ ;  $D_i^{\text{бвп}}$  — временной интервал от момента начала производства рассматриваемого кластера до требуемой даты выпуска элемента.

В ограничениях (3) и (4) использован интегральный индекс ранжирования  $H$  [12]:

$$H(A, B) = H_+(A) - H_+(B), \quad H_+(A) = \int_0^1 M(A_\alpha) d\alpha, \quad (6)$$

где  $A_\alpha$  —  $\alpha$ -уровневое подмножество нечеткого множества  $A$ , т. е.

$$A_\alpha = \{a : \mu_A(a) \geq \alpha\}; \quad M(A_\alpha) = (a^- + a^+)/2;$$

$$a^- = \inf_{a \in A_\alpha} a; \quad a^+ = \sup_{a \in A_\alpha} a.$$

Причем, если  $H(A, B) \geq 0$ , или  $H_+(A) \geq H_+(B)$ , то  $A \geq B$ .

Значениями нечеткой переменной  $I_k$  в ограничениях (3) и (4) являются нечеткие числа [12], каждое из которых представляет собой совокупность пар вида  $A = \{\mu_A(a_1)/a_1; \mu_A(a_2)/a_2; \dots; \mu_A(a_n)/a_n\}$ , где  $\mu_A(a_i)$  — функция принадлежности элемента  $a_i$ ,  $a_i \in S_A = \{u \in R : \mu_A(u) > 0\}$ ,  $S_A$  — носитель нечеткого числа  $A$ .

В ограничении (5) верхняя граница интервала равна  $2\Gamma + \gamma$  в предположении о том, что

- любой элемент должен быть запущен в производство в течение временного промежутка  $\Gamma$ ;
- любой элемент имеет длительность производственного цикла, не превышающую  $\Gamma$ ;
- фактический выпуск элемента может быть смещен на интервал планирования  $\gamma$ .

Поставленная задача — многокритериальная и многопараметрическая задача нелинейного программирования. Для ее решения был разработан эффективный алгоритм, основанный на методе стохастического поиска [10, 11] и ряде специально предложенных эвристик. Он реализован в виде универсального решателя, позволяющего формировать оптимальные наборы элементов в зависимости от входных параметров модели, результатом решения является Парето-множество кластеров. Таким образом, данная модель предлагает эксперту варианты кластеров для окончательного выбора на последующих этапах. Это существенно расширяет возможности модели при поддержке принятия управленческих решений.

### 3. ДЕМОНСТРАЦИОННЫЙ ПРИМЕР

Верификация модели проводилась на основе данных ОАО «Рыбинсккабель». Эти данные содержали информацию о поступивших заказах, параметрах производства и фактическом выпуске продукции.

На первом этапе решалась задача формирования кластера для интервала планирования  $\gamma = 5$  рабочих дней с горизонтом планирования  $\Gamma = 30$  дней. Рассматривался набор из  $N = 82$  заказов. В качестве ограничения на мощности выступал объем металла, который могут переработать цеха. Ранжирование по важности производилось: для заказов — в зависимости от схемы оплаты (предоплата, оплата при получении), для клиентов — в зависимости от их оборотов на данном предприятии.

Для введения нежестких ограничений было использовано нечеткое число  $A$ , формализующее термин «важное ограничение» следующим образом  $A = \{0,9/0,6; 0,95/0,8; 0,85/1,0; 0,4/1,2; 0,2/1,4\}$ . Элементы данного нечеткого числа показывают, во сколько раз могут быть превышены ограничения на мощности цехов и оборотные средства предприятия, в частности, максимальное превышение возможно в 1,4 раза. Значение функции принадлежности для каждого элемента нечеткого числа характеризуют степень уверенности экспертов в допустимости данного превышения, в частности, максимальное превышение допустимо в 20 % случаев.

Ограничения на мощности цехов принимались очень важными. Для формализации термина «очень важное ограничение» было использовано нечеткое число

$$A^2 = \bigcup_i \mu_A^2(a_i)/a_i = \{0,81/0,6; 0,9025/0,8; 0,7225/1,0; 0,16/1,2; 0,04/1,4\}.$$



Ограничения на оборотные средства принимались неважными. Для формализации термина «неважное ограничение» было использовано нечеткое число

$$\bar{A} = \bigcup_i (1 - \mu_A(a_i)) / a_i = \{0,01/0,06; 0,05/0,8; 0,15/1,0; 0,6/1,2; 0,8/1,4\}.$$

Если в ограничениях (3) и (4) первый аргумент в индексе ранжирования рассматривать как нечеткое число, состоящее из одного элемента с функцией принадлежности, равной единице, то с учетом свойств индекса (6) эти ограничения можно переписать в виде:

$$\left( \sum_{i=1}^N \alpha_i S_{ik} \right) / P_k \geq H_+(A^2), \quad k = \overline{1, M},$$

$$\left( \sum_{i=1}^N \alpha_i q_i c_i^* \right) / \left( \frac{\Gamma \bar{C}}{T} \right) \geq H_+(\bar{A}).$$

На рис. 2. представлены нечеткие числа  $A$ ,  $A^2$  и  $\bar{A}$ , для каждого из них был найден интеграл (6). Таким образом, при рассмотрении ограничений на мощности в качестве «очень важных» при формировании кластера будут учитываться только 74 % мощностей. В результате при производстве элементов кластера, с одной стороны, можно избегать

возникновения узких мест, а с другой — максимально загружать оборудование наиболее выгодными элементами.

Программный модуль, построенный на основе рассматриваемой модели, позволяет решать двухкритериальную задачу оптимизации (ДЗО) с нежесткими ограничениями на мощности и оборотные средства, а также с жесткими ограничениями на сроки поставки продукции клиентам. В результате решения ДЗО модуль генерирует Парето-множество кластеров.

Для проверки адекватности модели найденное множество кластеров сравнивалось с результатом решения однокритериальной задачи оптимизации (ОЗО), в которой был использован единственный критерий (1), а критерий ДЗО (2) был преобразован в интервальное ограничение вида

$$\sum_{i=1}^N \alpha_i V_i W_i \in [V_{\min} W_{\min}; V_{\max} W_{\max}].$$

Остальные ограничения в ОЗО были такими же, как ограничения в ДЗО, и она решалась методом линейного программирования.

Для проверки устойчивости решения была получена выборка из 30-ти решений ДЗО. Точка Парето-множества, соответствующая максимальному значению критерия прибыльности, имела незначительный разброс относительно среднего значе-

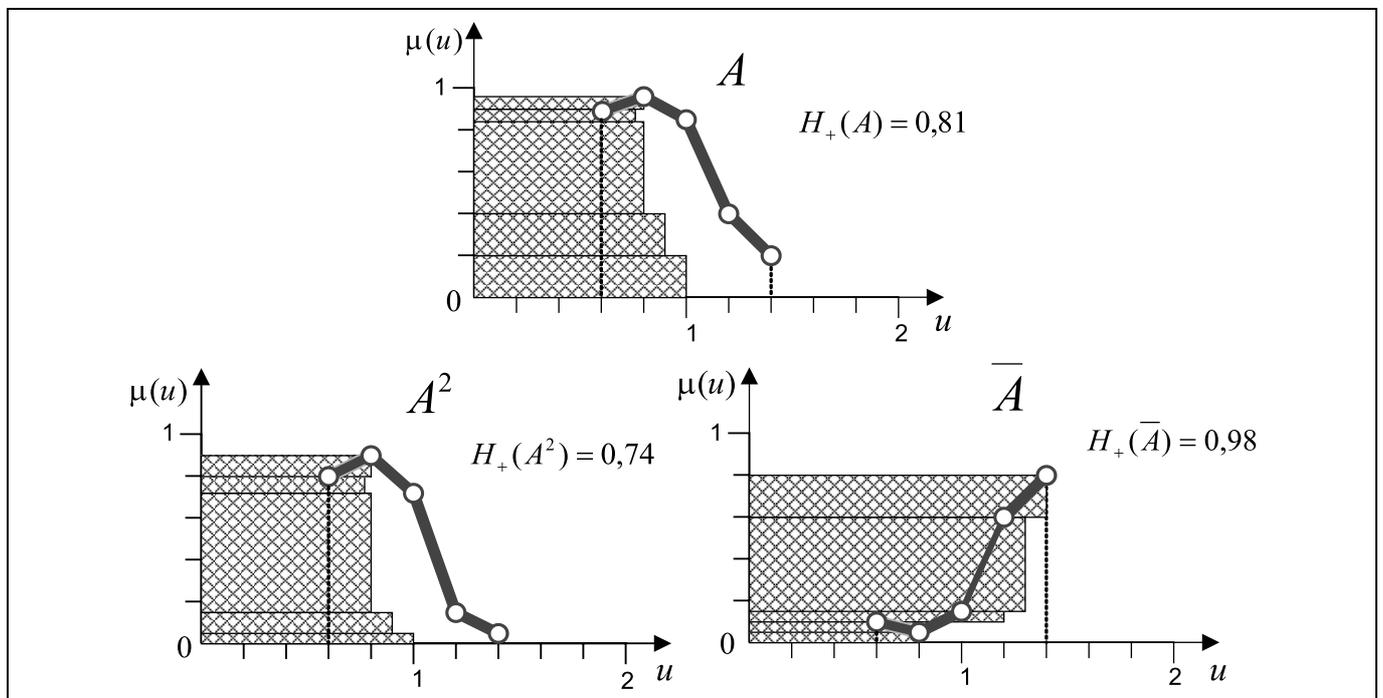


Рис. 2. Вид нечетких чисел  $A$ ,  $A^2$  и  $\bar{A}$

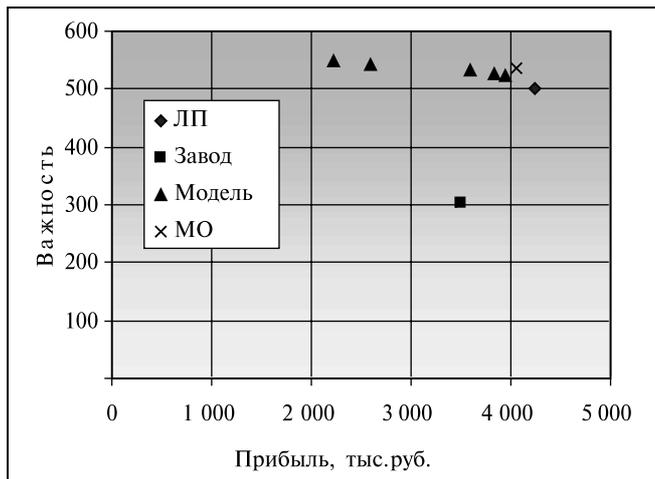


Рис. 3. Результаты решения задачи оптимизации разными методами

ния выборки, не превышающий 2 % по прибыльности и 1,5 % по важности.

На рис. 3 представлены решения ДЗО («Модель»), ОЗО («ЛП» — линейное программирование), среднее по выборке («МО» — математическое ожидание) и решение, фактически использованное кабельным заводом («Завод»), на основании которых можно сделать следующие выводы:

- очевидно, что решение, интуитивно полученное экспертами завода, является приемлемым, но далеко не оптимальным;
- решение, полученное с помощью модели, обеспечивает большую прибыль и важность по сравнению с решением, полученным экспертами предприятия;
- метод стохастического поиска позволил получить решение, незначительно уступающее по прибыльности решению, полученному с помощью линейного программирования (7 %), но со значительным выигрышем по времени вычислений (на решение ОЗО методом линейного программирования было потрачено 12 ч, в то время как ДЗО методом стохастического поиска решалась 4 мин).

На втором этапе тестирования модели решалась ДЗО последовательно на весь горизонт планирования  $T = 30$  дней с интервалом планирования  $\gamma = 3$  рабочих дня. Результаты данного этапа представлены на рис. 4 и 5.

Анализ результатов показывает, что кластер, полученный с помощью модели, экономит 28 % мощностей и обеспечивает прибыльность на 4 % больше по сравнению с кластером, полученным экспертами предприятия. При использовании всех мощностей прибыльность может возрасти еще на 15 %.

Одной из причин существенной экономии мощностей при использовании модели является их рассмотрение как «очень важных». Эта экономия играет роль страхового запаса мощностей, который необходим, так как при составлении оптимального портфеля заказов, ограничения на мощности цехов, как было отмечено, учитываются интегрально.

Введение нежесткости ограничений посредством использования нечетких переменных позволяет гибко подходить к заданию этих ограничений. В результате становится возможным превышение верхних границ ограничений и создание запасов, в интегральном смысле, для устранения узких мест, которые могут возникнуть при последующей детализации производственных планов на тактическом и оперативном уровнях планирования.

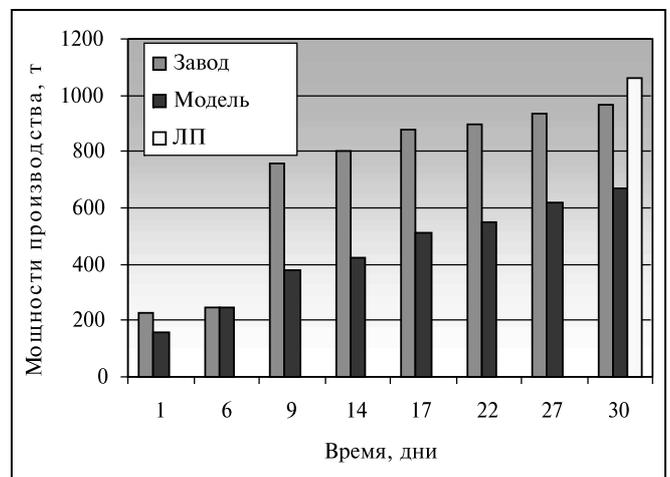


Рис. 4. Использование мощностей предприятия

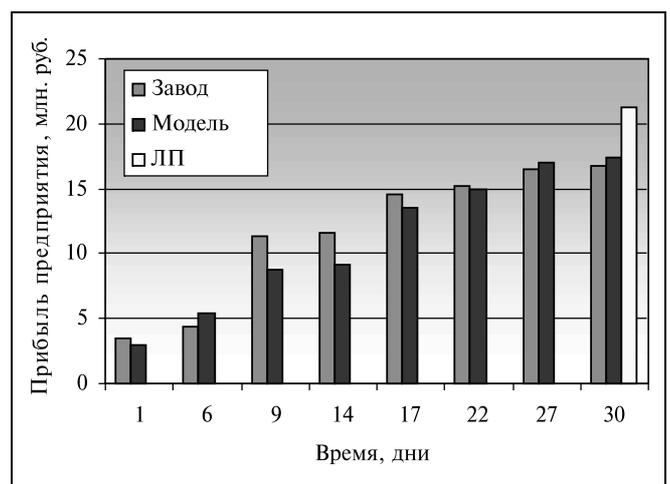


Рис. 5. Прибыль предприятия в зависимости от выбора портфеля заказов



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение предложенной модели на предприятиях, ориентированных на работу под заказ, дает возможность повысить качество обслуживания клиентов и увеличить прибыль благодаря более рациональной организации производства. Нечеткость позволяет гибко подходить к ограничениям на используемые ресурсы. Однако актуальным остается вопрос о построении нечетких множеств, позволяющих формализовать нежесткие ограничения. Это связано, в основном, с проблемами субъективного восприятия нечеткой информации экспертами, работающими на реальном производстве.

Получение оптимальных портфелей заказов еще недостаточно для достижения главной цели стратегического планирования, а именно, формирования главного календарного плана. В дальнейшем планируется создание модели его формирования, включающей в себя интеллектуальный элемент, реализующий механизм дальновидной адаптации [8] между моделью календарного планирования и моделью кластеризации. Связка этих двух моделей позволит оперативно получать главный календарный план, оптимальный в смысле прибыльности предприятия на достаточно длительный срок планирования и допустимый по имеющимся производственным ресурсам.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гаврилов Д.А. Управление производством на базе стандарта MRP II. — СПб.: Питер, 2002.

2. Зайцев Н.Л. Экономика, организация и управление предприятием. — М.: ИНФРА-М, 2004.
3. Столбов В.Ю., Федосеев С.А. Модель интеллектуальной системы управления предприятием // Проблемы управления. — 2006. — № 5. — С. 36—39.
4. Грешилов А.А., Стакун В.А., Стакун А.А. Математические методы построения прогнозов. — М.: Радио и связь, 1997. — 112 с.
5. Егорова Н.Е., Мудунов А.С. Применение моделей и методов прогнозирования спроса на продукцию сферы услуг. — М.: ЦЭМИ РАН, 2000.
6. Костевич Л.С., Лапко А.А. Теория игр. Исследование операций. — Минск: Высшая школа, 1982.
7. Жирнов В.И., Столбов В.Ю. Применение математического моделирования в управлении производственными заказами // Тр. междунар. конф. «Инфокоммуникационные технологии в науке и технике» (Инфоком-2). — Ставрополь, 2006. — С. 146—151.
8. Цыганов В.В., Бородин В.А., Шишкин Г.Б. Интеллектуальное предприятие. — М.: Университетская книга, 2004. — 768 с.
9. Галузин К.С., Столбов В.Ю. Учет нечетких предпочтений при составлении оптимального учебного расписания в рамках единой информационной системы образовательного учреждения // Журнал Белорусской инж. академии. — 2004. — № 2. — С. 32—35.
10. Haddock J., Mittenthal J. Simulation optimization using simulated annealing // Computers and Industrial Engineering. — 1922. — Vol. 22, N 4. — P. 387—395.
11. Gelfand S.B., Mitter S.K. Simulated annealing with noisy or imprecise energy measurements // Journal of Optimization Theory and Applications. — 1989. — Vol. 62, N 1. — P. 49—62.
12. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений / А.Н. Борисов, А.В. Алексеев, Г.В. Меркурьева и др. — М.: Радио и связь, 1989. — 304 с.

☎ (902) 807-89-38, e-mail: zhirnov\_yadim@mail.ru

Статья представлена к публикации членом редколлегии А.С. Манделем. □

## Новая книга

Цыганов В.В., Бородин В.А., Шишкин Г.Б. Приемник: механизмы эволюции России. — М.: Академический проект, 2007. — 396 с.

Данная монография — очередная книга серии "Социально-политические технологии", выпускаемой издательством "Академический проект". Рассмотрены основы управления эволюцией социально-экономических систем разной природы и масштаба — от корпорации и государства до мирового сообщества. Для управления применяется система прогрессивных адаптивных механизмов и их упрощенных моделей — архетипов овладения капиталом и властью. Комбинации этих механизмов и архетипов применяются для анализа и проектирования комплексных систем управления эволюцией организаций. Анализируются архетипы и механизмы глобальной эволюции капитала и власти. Описаны действующие и перспективные механизмы глобального управления. Исследованы механизмы и построены сценарии эволюции России в зависимости от используемых властью механизмов. Разработана концепция интеллектуального государства как центра капитала, основанного на самоорганизации и адаптации.

Для государственных и политических деятелей, лидеров делового мира и средств массовой информации, ученых и специалистов в области управления, философии, экономики и социологии, профессорско-преподавательского состава и студентов социально-экономических кафедр вузов.

По вопросам приобретения и распространения книги обращаться по тел. (495) 334-91-91, 687-69-04; факс (495) 334-89-11, e-mail: bbc@jpu.ru; buharinSn@yandex.ru.