

УДК 655.354.6.655.354

**ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ  
ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ  
ЗАГРУЗКИ ОБОРУДОВАНИЯ  
ПОЛИГРАФИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

© **В. Ф. Ткаченко**, к.т.н., профессор, **С. Н. Набатова**, к.т.н.,  
доцент, **А. В. Попов**, к.т.н., ассистент, **А. Ю. Еременко**, инже-  
нер, Харьковский национальный университет радиоэлектро-  
ники, Харьков, Украина

**Робота присвячена питанням дослідження методів авто-  
матизованого планування завантаження обладнання  
на поліграфічному виробництві з метою підвищення ефек-  
тивності функціонування підприємства.**

**Work is devoted questions of research of methods  
of the automated planning of loading of the equipment  
on polygraphic production for the purpose of increase  
of efficiency of functioning of the enterprise.**

**Постановка проблемы**

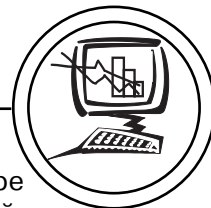
Современное полиграфическое производство характеризуется широким ассортиментом производимой продукции, разнообразием базовых производственных технологий, вследствие чего возникает много вариантов технологического процесса. В последние годы актуальной проблемой становится задача оперативного планирования производства, решение которой позволяет рационально распределить производственные ресурсы и существенно увеличить эффективность функционирования полиграфического предприятия. Решение этой задачи возможно в составе автоматизированной системы планирования и управления полиграфическим предприятием [1].

Полиграфическое производство, по характеру выпускаемой продукции относится к дискрет-

ному типу производства. Производство полиграфической продукции состоит из известного набора технологических операций, не всегда одинакового для каждого отдельного вида издания. В качестве основных можно выделить такие этапы: изготовление оригинал-макета издания, изготовление печатных форм, печать, брошюровочно-переплетные процессы, упаковка. В промежутках между данными операциями происходит транспортировка материалов и полуфабрикатов, а также наладка и подготовка к работе оборудования, необходимого для следующей технологической операции [2].

Оперативное планирование представляет собой систему мер, направленных на конкретизацию перспективного и текущего плана производства продукции имеющегося портфеля

## МЕНЕДЖМЕНТ ВИРОБНИЦТВА



заказов, в том числе — согласованного плана загрузки оборудования на определенный промежуток времени.

При этом план загрузки оборудования должен обеспечивать выполнение договорных обязательств полиграфического предприятия по выпуску продукции каждого из заказов в установленные сроки, минимизацию длительности производственного цикла всего портфеля заказов (с учетом обеспечения последовательности операций заданных технологическим процессом по каждой из работ), максимальную загрузку во времени производственных ресурсов, что максимизирует прибыль полиграфического предприятия. Для обеспечения сбалансированности работы цехов предприятия строятся сквозные графики загрузки оборудования. Таким образом, система оперативного планирования производства, особенно в части оптимальной загрузки оборудования, должна обеспечивать минимальную длительность производственного цикла, тем самым снижая себестоимость готовой продукции, и повышая эффективность работы полиграфического предприятия.

### **Анализ предыдущих исследований**

При построении автоматизированных систем планирования и управления производством активно используются сравнительно новые для отечественной практики управленческие технологии: управление проектами, управление ресурсами, промышленная логистика. Не-

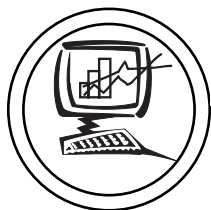
смотря на различия в сфере применения данных технологий, цель их использования одна — оптимизировать использование имеющихся материальных ресурсов путем составления соответствующих расписаний, в том числе загрузки оборудования.

Для автоматизации составления графика производственного процесса традиционно используются компьютерные методы обработки заказов на базе программных продуктов: Microsoft Project, Enterprise Dynamics, Primavera, Printeffect и др. [3] которые позволяют оперативно формализовать любой производственный процесс и построить некоторый план загрузки оборудования.

Существует множество методов построения графиков загрузки, но реальное планирование на предприятиях, как правило, осуществляется вручную. Это вызвано недостаточной гибкостью программ представленных на рынке, их высокой стоимостью, сложностью и продолжительным периодом внедрения, а также отсутствием четкой направленности на полиграфическую отрасль, которая имеет ряд специфических особенностей.

### **Цель работы**

Целью данной работы является разработка и исследование метода автоматизированного планирования загрузки оборудования на полиграфическом производстве с целью повышения эффективности функционирования предприятия.



## МЕНЕДЖМЕНТ ВИРОБНИЦТВА

Объект исследования — технологический процесс производства полиграфической продукции.

Предмет исследования — методы автоматизации процесса оперативного планирования загрузки оборудования.

### Результаты проведенных исследований

Критерии эффективности оперативного планирования загрузки полиграфического оборудования

Наиболее важными планово-экономическими показателями предприятия являются эффект и эффективность, стоимость и доходность. Эффект показывает степень достижения некоторого заданного результата. Относительный показатель — эффективность характеризует соотношение полученного эффекта с затратами на его осуществление и является своего рода ценой или платой за достижение данного результата.

В нашем случае, повышение качества планирования подразумевает контроль выполнения заказа на всех стадиях технологического процесса, своевременное планирование и перепланирование портфеля заказов, которое позволяет выполнять заказ качественно и в срок. Повышение же эффективности, предполагает выполнение портфеля заказов качественно, в срок, и при этом с наименьшими затратами для предприятия (в нашем случае временными) и минимизацией простоев оборудования.

Важным также является определение приоритетности выполнения каждой операции каж-

дого отдельного заказа, что позволит сократить время выполнения более важных для предприятия заказов без ущерба для выполнения оставшихся [4].

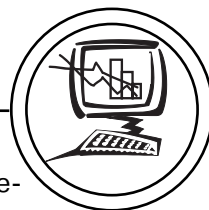
Вопрос о том, когда и в каком порядке выполнять работы, на реальном производстве, влияет на величину затрат, связанных с их выполнением, однако в идеализированных задачах чистого упорядочения это влияние не учитывается.

Существует три вида стоимостей, которыми определяется составленное расписание. Это стоимость эксплуатации машины, стоимость хранения запасов и стоимость задержек отдельных этапов работ.

Издержки хранения обычно оцениваются в 2-3 процента от стоимости запасов в месяц и зависят от физического объема запасов. В зависимости от обстоятельств, издержки могут определяться числом работ, объемом незавершенной или завершенной работы. Всегда существуют экономические причины, заставляющие стремиться к уменьшению средних размеров запасов. Этим объясняется стремление уменьшить среднюю длительность прохождения работ [5]. Это стремление объясняется также конкуренцией, так как уменьшение длительности прохождения позволяет произвести больше товаров и, следовательно, снизить цены.

Коэффициент использования оборудования является очень важным экономическим фактором, характеризующим составленное расписание. Если расписание таково, что простой

## МЕНЕДЖМЕНТ ВИРОБНИЦТВА



устройств в нем минимальны или минимальна средняя длительность прохождения работ, то это означает, что те же самые устройства за одно и то же время выполняют большую работу, чем при другом расписании. С другой стороны, правильно составленное расписание позволяет выполнить ту же самую работу меньшим числом устройств [6].

Исходя из вышесказанного, можно выделить такие критерии эффективности оперативного планирования загрузки оборудования:

- отклонение фактического выпуска продукции от планового;

- своевременность завершения выполнения заказа;

- минимизация времени выполнения портфеля заказов.

Последний критерий является составным, и включает в себя: минимизацию количества переналадок, непротиворечивость планов и их составляющих, минимизацию времени простоев оборудования.

*Содержательная постановка задачи оперативного планирования загрузки оборудования*

Рассматривается задача составления расписания выполнения заказов на непериодические издания на полиграфическом предприятии. Выполнение работ входящих в заказ осуществляется на соответствующем оборудовании (машиноцентрах) и возможно только в моменты времени не занятые под периодические издания (в так называемые «окна»). Предполагается, что в начале пери-

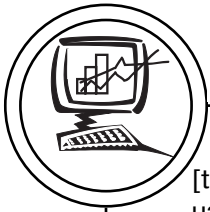
ода планирования известен перечень заказов, подлежащих выполнению. Каждый заказ представляет собой совокупность взаимозависимых работ, выполнение которых осуществляется на машиноцентрах. Единицы оборудования объединены в группы взаимозаменяемых станков (стадии обработки) одинаковой производительности на каждой стадии. В общем случае каждая работа для своего выполнения должна пройти обработку последовательно на станках каждой стадии, причем для каждой работы порядок прохождения по стадиям может быть различным. На очередной стадии выполнение работы может осуществляться на любом станке этой стадии. Требуется построить такое расписание выполнения работ на станках, при котором время необходимое для выполнения портфеля заказов будет минимально.

*Математическая постановка задачи оперативного планирования загрузки оборудования на полиграфическом предприятии*

Учитывая особенности постановки задачи (работы входящие в портфель заказов на непериодические издания могут выполняться только в «окнах») введем множество  $G^i = \{G_1^i, G_2^i, \dots, G_d^i\}$ , описывающие «окна» за  $d$  дней на  $i$ -м оборудовании. При этом

$G_w^i = \{g_1, g_2, \dots, g_h\}$ , где  $h$  количество окон на  $w \in d$  день на  $i$ -м оборудовании. Значения  $g_b$ ,

$b = \overline{1, h}$  представляют собой пару чисел  $g_b = (x_{gb}, t_{gb})$ ,  $[x_{gb}] = \text{мин.}$ ,



## МЕНЕДЖМЕНТ ВИРОБНИЦТВА

$[t_{gb}] = \text{мин.}$ , где первая координата — время начала «окна» в  $G_w^i$ , вторая — продолжительность «окна».

Отметим, что на предприятии происходят 2 пересмены за сутки (каждая по 30 минут). При формировании «окон» данные перерывы в работе не учитываются. То есть если до пересмены и сразу после присутствуют «окна», то необходимо считать эти два «окна» как одно. Аналогично, если одно «окно» находится в конце предыдущего дня, а другое вначале следующего дня (т.е. одно «окно» длится до 24.00 (1440 минут), а другое начинается в 00.00 (0 минут) следующего дня), то два таких «окна» тоже считается как одно.

Пусть  $I = \{i_1, i_2, \dots, i_n\}$  — множество оборудования на полиграфическом производстве;  $R = \{r_1, r_2, \dots, r_v\}$  — множество стадий (группы взаимозаменяемого оборудования) на полиграфическом производстве;  $J = \{j_1, j_2, \dots, j_k\}$  — множество заказов в портфеле заказов;  $L = \{l_1^1, l_2^1, \dots, l_m^1\}$ ,

$j \in J$  — множество операций необходимых для выполнения  $j$ -го заказа;  $t_{jil}$  — время необходимое для выполнения  $l$ -ой операции  $j$ -ой работы на  $i$ -м оборудовании.

Варьируемыми параметрами модели выступают:

$$X = \{x_{jil}, j \in J, l = \overline{1, m_j}, i \in I\} \quad \text{—}$$

где  $x_{jil}$  — момент начала выполнения операции  $l$  работы  $j$  на станке  $i$ ;

$$Y = \{y_{jil}, j \in J, l = \overline{1, m_j}, i \in I\} \quad \text{—}$$

где  $y_{jil} \in \{0, 1\}$ :

$$y_{jil} = \begin{cases} 1, & \text{если операция } l \text{ работы } j \text{ выполняется} \\ & \text{на оборудовании } i \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases};$$

$$Z = \{z_{jil}, j \in J, l = \overline{1, m_j}, i \in I\},$$

где  $z_{jil}$  — номер по порядку выполнения  $l$ -ой операции  $j$ -ой работы на  $i$ -ом станке,  $z_{jil} \in \{0, 1, \dots, N\}$ ,

$$N = \sum_{j \in J} m_j, \quad j \in J, l = \overline{1, m_j}, i \in I.$$

Тогда математическая постановка задачи оперативного планирования загрузки оборудования на полиграфическом производстве представима в виде:

$$F = \min_{J \in \Omega} T \quad (1)$$

$$\Omega: \begin{cases} \sum_{i \in I} y_{jil} = 1, l = \overline{1, m_j}, j \in J, \\ y_{jil} = 1 \vee y_{jil-1s} = 1 \Rightarrow x_{jil} \geq \\ \geq x_{jil-1s} + t_{jil-1s}, l = \overline{2, m_j}, \\ i \in I, s \in I, j \in J, \\ y_{jil} = 1, y_{usi} = 1, z_{jil} = z_{usi} + 1 \Rightarrow \\ \Rightarrow x_{jil} \geq x_{usi} + t_{usi}, s = \overline{1, m_u}, \\ l = \overline{1, m_j}, u \in J, \\ t_{jil} \leq t_{gb}, l = \overline{2, m_j}, i \in I, j \in J, b = \overline{1, h}, \\ x_{jil} \geq 0, y_{jil} \in \{0, 1\}, z_{jil} \in \{0, 1, \dots, N\}, \\ l = \overline{1, m_j}, i \in I, j \in J. \end{cases}$$

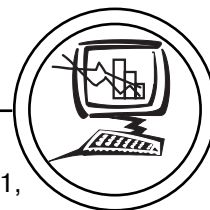
где  $T$  — время выполнения портфеля заказа (чем меньше время выполнения портфеля заказов, тем более плотно составлено расписание).

Рассмотрим более подробно ограничения, входящие в область  $\Omega$ .

Каждая операция любой работы выполняется на одном станке:

$$\sum_{i \in I} y_{jil} = 1, l = \overline{1, m_j}, j \in J. \quad (2)$$

## МЕНЕДЖМЕНТ ВИРОБНИЦТВА



Начало любой операции может наступить лишь после завершения всех операций, ей предшествующих по технологии:

$$\begin{aligned} &\text{если } y_{jli} = 1 \text{ и } y_{jl-1s} = 1, \\ &x_{jli} \geq x_{jl-1s} + t_{jl-1s}, \\ &\text{то } l = \overline{2, m_j}, \quad i \in I, \quad (3) \\ &s \in I, \quad j \in J. \end{aligned}$$

Начало выполнения любой работы на станке может начаться лишь после завершения выполнения на этом станке предыдущей работы:

$$\begin{aligned} &\text{если } y_{jli} = 1, y_{usi} = 1, z_{jli} = z_{usi} + 1, \\ &\text{то } x_{jli} \geq x_{usi} + t_{usi}, \\ &i \in I, s = \overline{1, m_l}, l = \overline{1, m_j}, \quad (4) \\ &u \in J, j \in J. \end{aligned}$$

Длина любой операции не должна превышать длины «окна»:

$$\begin{aligned} &t_{jli} \leq t_{g_b}, \quad l = \overline{2, m_j}, \quad (5) \\ &i \in I, j \in J, b = \overline{1, h}. \end{aligned}$$

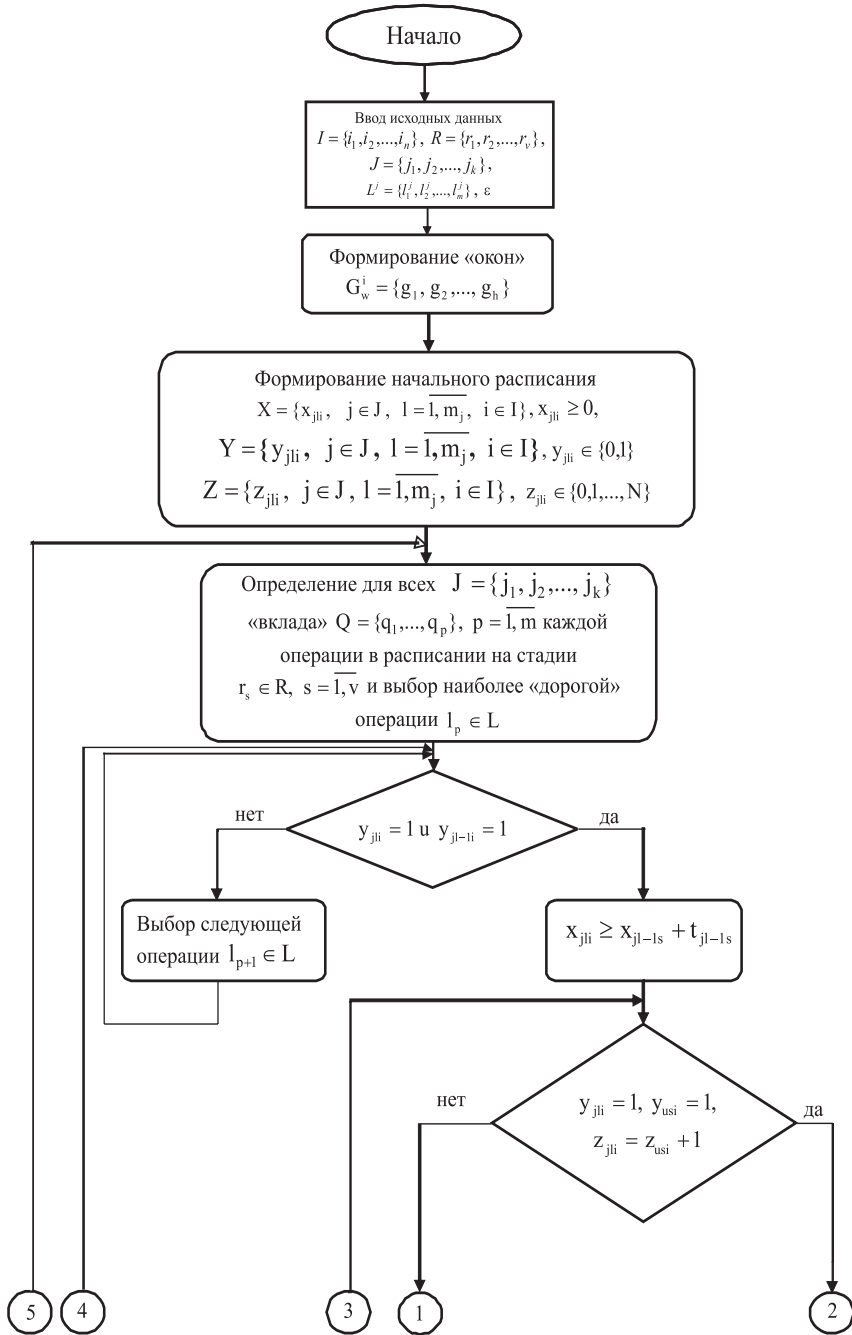
Таблица 1

Параметры работы  $j_1$

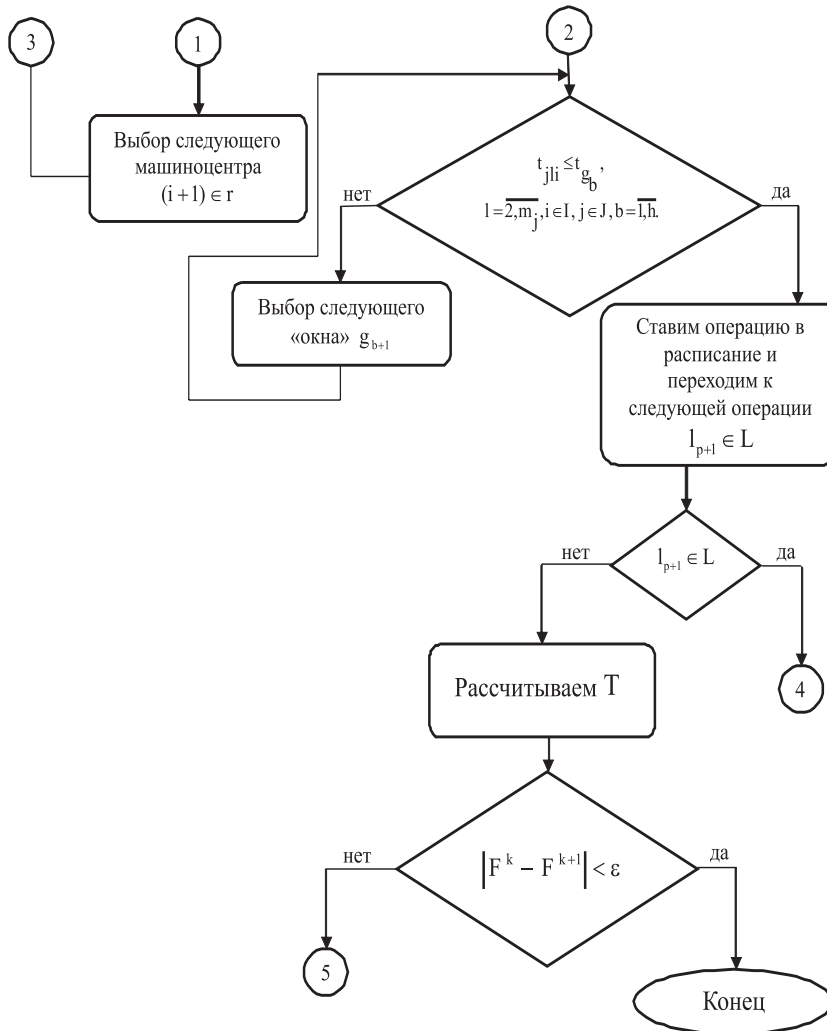
№ п/п	Наименование ТО	Обозначение	Стадия	Возможное время выполнения $t_{jli}$	Длительность операции (мин)
1	Изготовление печатных форм обложки	$l_1$	$r_1$	$t_{111}$	25
2	Печать обложки	$l_2$	$r_3$	$t_{125}$ $t_{126}$ $t_{127}$	360
3	Ламинация обложки	$l_3$	$r_4$	$t_{138}$ $t_{139}$	240
4	Изготовление печатных форм вн. блока	$l_4$	$r_1$	$t_{141}$	210
5	Печать вн. блока	$l_5$	$r_2$	$t_{152}$ $t_{153}$ $t_{154}$	420
6	Комплектовка блока	$l_6$	$r_5$	$t_{1610}$ $t_{1611}$ $t_{1612}$	180
7	Биндование	$l_7$	$r_6$	$t_{1713}$ $t_{1714}$ $t_{1715}$	300
8	Обрезка с трех сторон	$l_8$	$r_7$	$t_{1816}$ $t_{1817}$ $t_{1818}$	240
9	Упаковка	$l_9$	$r_8$	$t_{1919}$ $t_{1920}$ $t_{1921}$	450



# МЕНЕДЖМЕНТ ВИРОБНИЦТВА

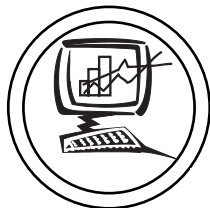


Алгоритм локального улучшения расписания. Начало



Алгоритм локального улучшения расписания. Окончание





## МЕНЕДЖМЕНТ ВИРОБНИЦТВА

Таблица 2

### Параметры работы $j_2$

№ п/п	Наименование ТО	Обозначение	Стадия	Возможное время выполнения $t_{ji}$	Длительность операции (мин)
1	Изготовление печатных форм	$l_1$	$r_1$	$t_{211}$	120
2	Печать и фальцовка внутреннего блока	$l_2$	$r_3$	$t_{222,3,4}$	240
3	Печать обложки	$l_3$	$r_3$	$t_{232,3,4}$	120
4	Подбор блока	$l_4$	$r_5$	$t_{2410,11,12}$	210
5	Мягкий переплет, шитье нитками	$l_5$	$r_6$	$t_{2513,14,15}$	150
6	Обрезка с 3 сторон	$l_6$	$r_7$	$t_{2616,17,18}$	120
7	Упаковка	$l_7$	$r_8$	$t_{2719,20,21}$	210

Таблица 3

### Параметры работы $j_3$

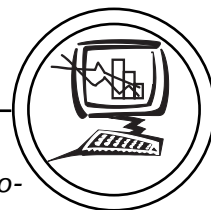
№ п/п	Наименование ТО	Обозначение	Стадия	Возможное время выполнения $t_{ji}$	Длительность операции (мин)
1	Печать вн. блока	$l_1$	$r_1$	$t_{32}$	330
2	Печать обложки	$l_2$	$r_3$	$t_{33}$	60
3	Ламинация обложки	$l_3$	$r_3$	$t_{34}$	60
4	Подборка блока	$l_4$	$r_5$	$t_{35}$	30
5	Переплет	$l_5$	$r_6$	$t_{36}$	90
6	Обрезка	$l_6$	$r_7$	$t_{37}$	60
7	Упаковка	$l_7$	$r_8$	$t_{38}$	60

Таблица 4

### Длительность выполнения заказов

Наименование работы портфеля заказов	Длительность до применения алгоритма (мин)	Длительность после применения алгоритма (мин)
$j_1$	9360	3840
$j_2$	3480	3480
$j_3$	3780	2820

## МЕНЕДЖМЕНТ ВИРОБНИЦТВА



Естественные условия на введенные переменные:

$$x_{jil} \geq 0, y_{jl} \in \{0, 1\}, z_{jl} \in \{0, 1, \dots, N\}, \\ i \in I, l = \overline{1, m_j}, j \in J. \quad (6)$$

Для предложенной постановки задачи оперативного планирования загрузки оборудования на полиграфическом производстве можно использовать следующие алгоритмы [7]:

- алгоритм построитель расписания;
- алгоритм поиска перестановки  $P$  глубины  $h$ ;
- алгоритм локального улучшения расписания;
- алгоритм критического пути.

Каждый из предложенных алгоритмов дает локальное улучшение критерия в окрестности некоторого локального экстремума. Поэтому каждый алгоритм имеет смысл использовать до тех пор, пока происходят локальные улучшения критерия.

Исследование предложенных алгоритмов показало, что алгоритм локального улучшения расписания (схема, которого представлена на рисунке) дает наиболее эффективную минимизацию целевой функции.

*Исследование эффективности разработанного алгоритма решения задачи оперативного планирования загрузки оборудования*

Входные параметры решения задачи оперативного планирования загрузки полиграфического оборудования представлены в таблицах 1-3.

Общее время выполнения портфеля заказов (табл. 1-табл. 3) по расписанию, составленному диспетчером, составило 9750 минут. Общее время выполнения портфеля заказов, после применения алгоритма локального улучшения расписания, составило 4200 минут.

Время выполнения заказов, соответственно, до и после применения алгоритма представлено в таблице 4.

### Выводы

В данной работе предложен метод решения актуальной задачи — автоматизации оперативного планирования загрузки оборудования на полиграфическом предприятии.

Полученные результаты имеют важное практическое значение, и могут использоваться для дальнейших исследований и внедрения в составе автоматизированных систем планирования и управления полиграфическим производством.

1. Автоматизация управления в производстве / Н. Завгородний // Полиграфия. — 2005. — № 5. — С. 18—20.
2. В. В. Шкурба Планирование и управление в автоматизированном производстве / В. В. Шкурба, С. А. Белецкий, К. Ф. Ефетова и др. — Киев : Наукова думка, 1985. — 224 с.
3. В. В. Шкурба. Планирование дискретного производства в условиях АСУ / В. В. Шкурба, В. А. Болдырева и др. — Киев : Техника, 1975. — 296 с.
4. С. Кув-



## МЕНЕДЖМЕНТ ВИРОБНИЦТВА

шинов. Автоматизированные системы управления типографией своими силами / С. Кувшинов // КомпьюАрт. — 2004. — № 2. 5. О. Оксенойд. Разработка систем автоматизации полиграфического производства / Олег Оксенойд // КомпьюАрт. — 2004. — № 4. 6. Ефимов М. В. Теоретические основы переработки информации в полиграфии : Учебник для вузов: в 2 кн. Кн. 1 / М. В. Ефимов. — М. : МГУП, 2001. — 416 с. 7. М. Х. Прилуцкий. Многостадийные задачи теории расписаний с альтернативными вариантами выполнения работ / М. Х. Прилуцкий, С. Е. Власов // Системы управления и информационные технологии. — 2005. — № 2(19).

Рецензент — В. А. Філатов,  
д.т.н., професор, ХНУРЕ

Надійшла до редакції 18.02.10