

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАКАЗОВ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

© 2020 Хаймович А.И., Петрова П.С., Кокарева В.В., Смелов В.Г.

Самарский университет, г. Самара, Россия

Для обеспечения конкурентных преимуществ современные предприятия должны не только применять передовые производственные технологии, приобретать высокотехнологичное оборудование, но и осуществлять постоянный мониторинг и анализ производительности производственной системы. В данной работе рассматривается отдельный процесс распределения заказов на единицы оборудования в условиях многономенклатурного производства.

Ключевые слова: алгоритм распределения, сети Байеса, эффективность, вероятность, успешное изготовление деталей.

Эффективное планирование заказов аддитивного производства позволяет сократить трудоемкость и стоимость изготовления деталей [6-8]. Рассмотрим кооперацию производственных мощностей, целью которой является получение максимальной прибыли от поступающих заказов, для этого их нужно распределить по лабораториям, которые имеют различное по техническим характеристикам оборудование [1-3]. Распределение заказов по рабочим установкам производится с целью сокращения вре-

мени производства и выполнения заказов с требуемым качеством. Для этого был разработан алгоритм распределения заказов.

Для решения проблемы своевременного и рационального распределения заказов по производственным ресурсам предлагается использовать алгоритм распределения [4, 5] на основе определения коэффициента срочности ($K_{ср}$) или приоритета ($K_{приор}$), представленный на рисунке 1.

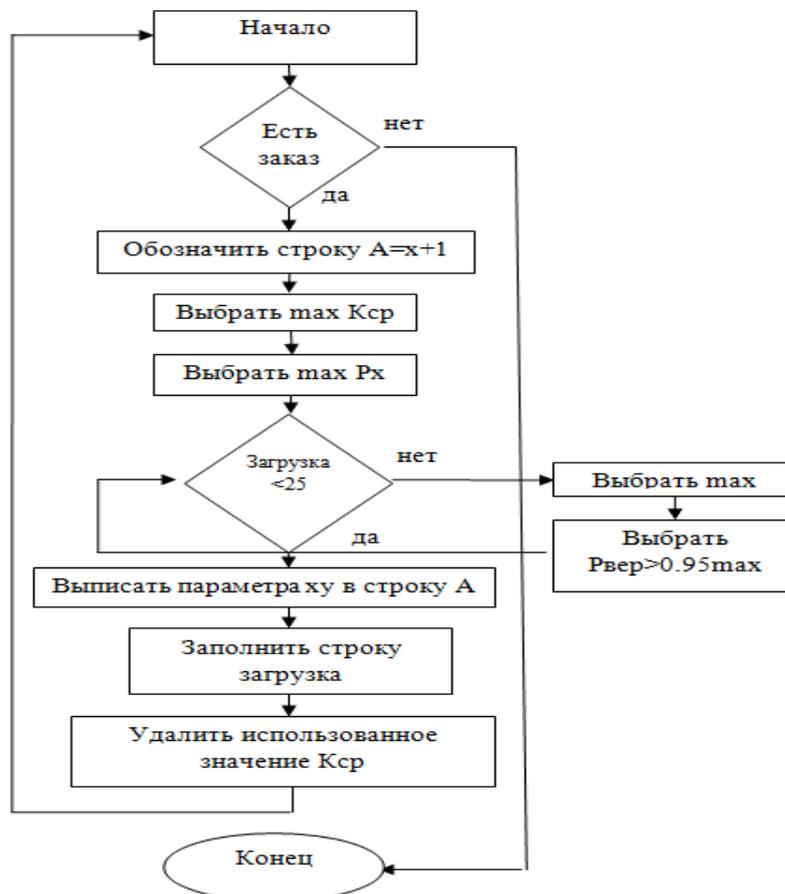


Рисунок 1 - Блок-схема, изображающая действия алгоритма распределения

Опишем работу алгоритма распределения.

Шаг 1. Выбрать max значение вероятности в каждом столбце и значения в диапазоне 5% уменьшения от max для столбца.

Шаг 2. Выбрать max значение в строке $K_{\text{приор}} - K_{\text{ср}}$ (если несколько значений удовлетворяют требованию, то выбрать значение, в столбце которого меньше значений удовлетворяют требованиям шага 1).

Шаг 3. Из столбца со значением, выбранным в шаге 2, выбрать max значение вероятности (если несколько значений удовлетворяют требованию, то выбрать значение, в строке которого меньше значений удовлетворяют требованиям шага 1).

Шаг 4. В отдельное поле (Вывод) вынести название строки и столбца, в отдельное поле (Загрузка) добавить значение из таблицы, соответствующее выбранной ячейке. Если значение в поле «загрузка» при выборе данной детали больше 25, выбрать оборудование со следующей в сторону уменьшения вероятностью.

Шаг 5. Удалить значения вероятностей для выбранной детали. Повторить порядок действий.

На основании данных из таблицы алгоритм сможет распределять заказы по критериям качественного и быстрого выполнения заказа [3]. Коэффициент срочности для каждой детали определяется с учетом параметра влияния изготовления данной детали на другие детали, наличия стимулирующих выплат для ускорения производства со стороны заказчика и размера неустойки при невыполнении условий договора (неудовлетворительное качество, превышены сроки) с заказчиком, запаса времени, как отношения времени по договору к фактическому времени производства. Коэффициент срочности вычисляется следующим образом:

$$K_{\text{ср}} = \frac{1}{e^{\frac{U}{N(F+L+S)}}},$$

где U – параметр срочности заказа, $U \in [0;1]$ и вычисляется следующим образом: $U = (A - R) / A$, где A – обозначает время выполнения заказа по договору, R – обозначает время, фактически необходимое для выполнения заказа, N – параметр, учиты-

вающий ограничения оборудования, $N \in (0;1]$.

Значение N вычисляется по формуле: $N = C / D$, где C – количество единиц работающего оборудования, D – количество единиц оборудования, на котором возможно изготовление заданной детали. В формуле для расчета коэффициента срочности используются параметры: F – параметр, учитывающий размер неустойки, $F \in [0; 1]$; L – параметр, описывающий влияние выбранной детали на изготовление других заказов, принимает значение 1, если данная деталь является составной частью исходного заказа, и 0 – если это самостоятельная деталь из отдельного заказа; S – параметр, учитывающий доплаты за ускоренное изготовление заказа, принимает значение 1, если заказчиком было отмечено желание ускоренного производства, и 0 – если деталь будет выполняться в соответствии с очередью. Коэффициент срочности рассчитывается для каждой детали и принимает следующие значения $K_{\text{ср}} \in (0;1]$.

Задача планирования выполнения заказов аддитивного производства представлена следующим образом. Сначала введем исходные данные:

n – количество деталей, требуемое для изготовления;

$X_{ij} = (q_{ij}, t_{ij})$ – технологический маршрут – платформа построения установки аддитивного производства, в котором i – текущий вариант изготовления j детали $i = \overline{1, m}$, m – число установок аддитивного производства, $j = \overline{1, n}$,

q_{ij} – номер установки аддитивного производства, на котором изготавливается деталь, $i = \overline{1, m}$,

t_{ij} – номинальная продолжительность выполнения заказа при L_{ij} ,

t_{ij}^0 – момент начала выполнения заказа,

t_{ij}^k – момент окончания выполнения заказа.

Совокупность $\{t_{ij}^0\}$ называется календарным планом. Значения, которые будем использовать при загрузке оборудования, следующие: $X_{ij}=1,0$ – если деталь j располагается на платформе i ; 0 – иначе. $Y_{mi} = 1,0$ – если платформа i печатается на машине m , 0 – иначе.

В математической модели будем использовать следующие ограничения.

На каждом оборудовании в каждый момент времени выполняется только одна операция X_{ij} :

$$\sum_{i=1}^{i_m} X_{ij} = 1; \forall i \in I, \forall j \in J.$$

Каждая платформа построения располагается только на одной установке, и в том случае, если на него распределяется хотя бы одна деталь. Другими словами, если деталь j назначена на i платформу построения, то эта платформа располагается на установке m :

$$\sum_{m=1}^{m_n} Y_{mi} - Z_i = 0; \forall i \in I, \forall j \in J,$$

где Z_i - фиктивная переменная $Z_i =$
 $\begin{cases} 1 & \text{если } \sum_{j \in J} X_{ij} \geq 1 \\ 0 & \text{в противном случае} \end{cases}$

Директивные сроки выполнения заказа (изготовления детали j) θ_j :

$$t_{ij}^k \leq \theta_j.$$

Задача оптимального планирования заключается в нахождении такой $\{t_{ij}^0\}$ плана, которой максимизирует эффективность производственной системы с учетом ограничений.

В качестве критерия эффективности используют минимизацию времени выполнения заказа:

$$T = \max |T_{ij} + T_{ij\text{пер}} + T_{ij\text{пр}}| \rightarrow \min,$$

T_{ij} - время выполнения операции (заказа) на j оборудовании,

$T_{ij\text{пер}}$ - время переналадок.

$T_{ij\text{пр}}$ - время простоя.

Произведя расчет по формуле коэффициента срочности для трех обозначенных деталей, получим значения $K_{ср1}=0,67$; $K_{ср2}=0,81$; $K_{ср3}=0,43$. На рисунке 2 представлено распределение заказов. Исходя из наибольшего значения коэффициента срочности выбирается заказ, выполнение которого является самым приоритетным, затем для данного заказа выбирается оборудование на котором деталь будет выполнена быстрее всего. На рисунке 2 представлена база данных времени и показаны значения коэффициента срочности. Исходя из этих данных, происходит следующее распределение: наименьшее время изготовления для выбранных деталей представлено Concept Laser X LINE 2000R, поэтому сначала на производство отправляется деталь 2, затем деталь 1 и после этого деталь 3.

	db_column	db_1	db_2	db_3
		2	1	3
1	Ксрочности	0,67	0,81	0,43
2	CL M2	29,3	46,7	18,8
3	CL X LINE 2000R	2,0	2,2	1,5
4	EOS M 400	4,2	4,4	3,0

Рисунок 2 – Данные распределения деталей

Процесс аддитивного производства сопряжен со многими производственными рисками, а именно: риск неверного анализа технологичности изделия, риск отсутствия необходимого персонала, риск неверных технических решений при подготовке файла печати, риск неверного назначения технологических режимов и стратегии печати, риск несоответствия качества металлического порошка спецификации, риск недостатка ресурсов, риск остановки печати и т.п.

Для того чтобы учесть перечисленные выше риски, предлагается использовать сети Байеса, направленные на определение вероятности наступления нежелательного события, связанного с риском, на основе априорных гипотез событий (накопленного опыта, статистики). В таблице 1 представлены параметры событий.

Для того чтобы учесть перечисленные выше риски, предлагается использовать сети Байеса, направленные на определение вероятности наступления нежелательного события, связанного с риском, на основе априорных гипотез событий (накопленного опыта, статистики). В таблице 1 представлены параметры событий.

Таблица 1 – Данные, необходимые для работы алгоритма

Заказы	Деталь 1	Деталь 2	Деталь 3
Коэф-т приоритета	K1	K2	K3
Оборудование 1	P11	P21	P31
Оборудование 2	P12	P22	P32
Оборудование 3	P13	P23	P33

В данной таблице P_{nk} (где n – номер детали, $n = [1;3]$; k – номер оборудования, $k = [1;3]$) – это вероятность успешного выполнения заданной партии деталей на выбранном оборудовании, которая рассчитывается по теореме Байеса и учитывает требования по времени изготовления деталей, требования к качеству детали исходя из технологических возможностей и ограничений оборудования.

На рисунке 2 представлена схема работы сетей Байеса для вычисления вероятности успешного изготовления деталей на выбранном оборудовании. Детали или заказы представлены $Q1, Q2, Q3$, параметры каждой из деталей представлены в виде $a_1b_1c_1$. Оборудование представлено как А, Б, В.

Задачей было определить вероятности успешного изготовления деталей из заказа $Q1$ на оборудовании А, их связь представлена на рисунке 3. $P(A|Q1)$ – есть вероятность успешного изготовления детали $Q1$ на оборудовании А, вероятности для других деталей и оборудования представлены на рисунке ниже. Для получения достоверных значений вероятности необходимо учесть влияние технических особенностей установки - $P(A|a_1b_1c_1)$, данные значения вероятности получены экспертным путем. Таким образом, $P(A|Q1Q2Q3)$ – является искомым набором значений вероятностей успешного изготовления требуемых деталей на заданном оборудовании.

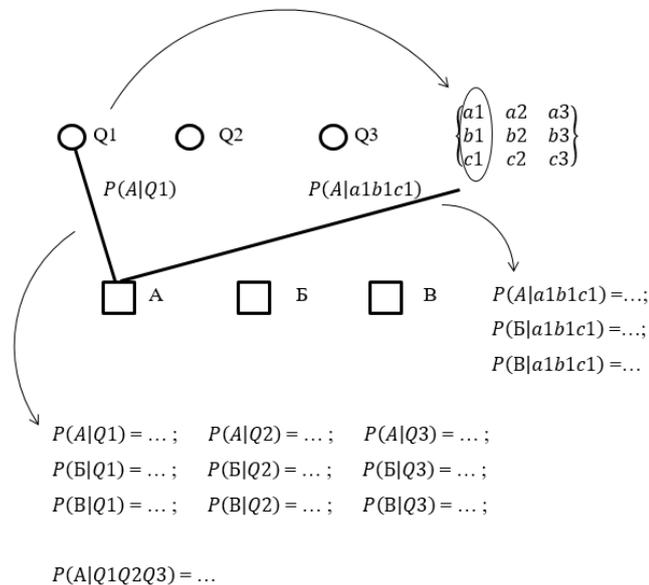


Рисунок 3 - Принципиальная схема работы сетей Байеса

На основе сетей Байеса рассчитаны вероятности успешного изготовления деталей. Используя ранее предложенный алгоритм, исходя из полученных вероятностей выполнено распределение заказов по рабочим машинам по наибольшей вероятности успеш-

ного выполнения заказа. На рисунке 4 представлен выбор оборудования для заказанных образцов/деталей. На имитационной модели, показанной на рисунке 5, представлена схема распределения заказов.

	db_column	db_1	db_2	db_3
1	CL M2	0,91	0,87	0,91
2	CL X LINE 2000R	0,79	0,89	0,73
3	EOS M 400	0,89	0,86	0,93

Рисунок 4 - Распределение деталей по наименованиям оборудования по параметру вероятности

При распределении заказов по разработанному алгоритму деталь 2 производится на Concept Laser X LINE 2000R, параллельно с ней распределяется на Concept Laser M2 деталь 1 и на EOS 400 – деталь 3.

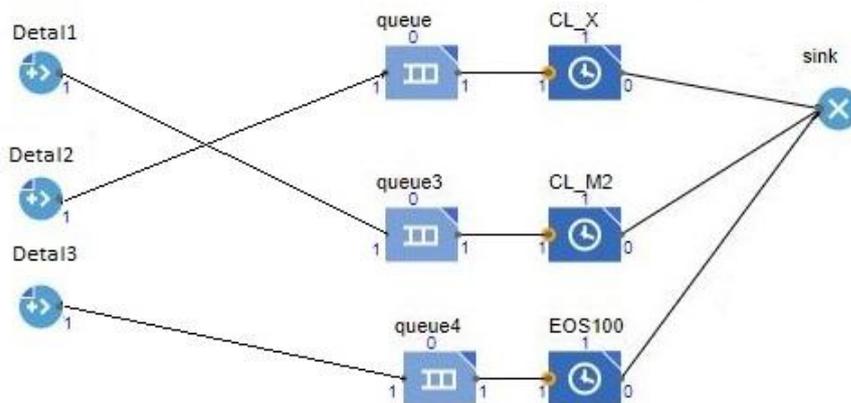


Рисунок 5 – Схема распределения заказов с учетом вероятности успешного выполнения заказов

На рисунке 6 для сравнения представлены графики загрузки оборудования при стандартной схеме, исходя из наискорейшего производства детали и полной загрузки машин по ранее предложенному алгоритму с учетом коэффициента приоритетности. При загрузке оборудования согласно распределению по параметру наименьшего производственного времени продолжительность работы оборудования – 5,5 дней. Время производства уменьшается до 2,5 дней при использовании алгоритма распределения.

Можно сделать вывод о том, что предложенная схема с учетом вероятностей успеш-

ного выполнения заказов на различном оборудовании (на основе анализа рисков аддитивного производства) эффективнее стандартной, так как время производства сократилось более чем в 2 раза, более равномерное (пропорциональное) распределение деталей стало возможным за счет учета вероятности успешной печати, с точки зрения обеспечения требуемых параметров качества, на том или ином оборудовании, что способствует улучшению качества.

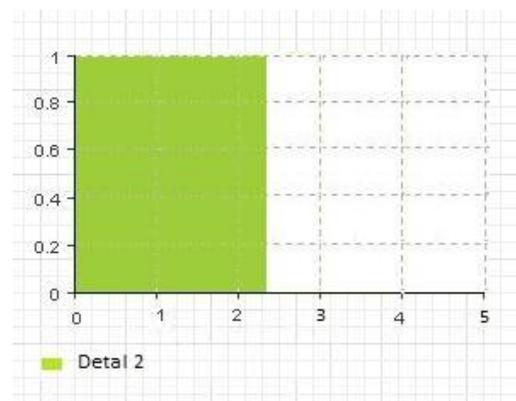
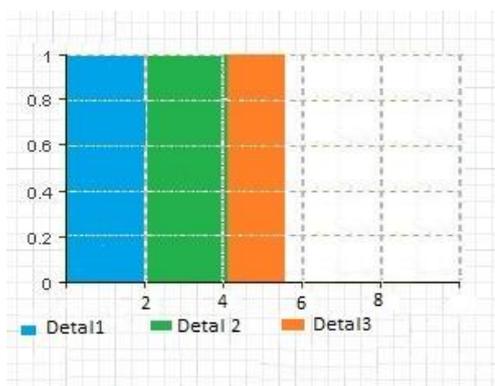


Рисунок 6 - Графики загрузки оборудования

Методы, основанные на принятии решений, являются основой для создания систем подготовки аддитивного производства. Применение этих методов требует активного использования информационных технологий [9, 10]. В итоге удалось рассмотреть возможность гибкого планирования аддитивного производства, учитывающего прошлый опыт выполнения заказов на выбранном оборудовании.

Разработан алгоритм распределения задач по производственным мощностям с учетом срочности выполнения заказов на основании параметров оборудования и требований деталей, расчета вероятности успешного изготовления заданных деталей на всем перечне оборудования, в который в любой момент можно вносить дополнительные параметры, изменять приоритеты и добавлять производственную номенклатуру.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Батищев В. И., Хаймович И. Н., Марков В. И., Макашов А. Н. Концепция информационной среды в организации производства на предприятии с применением оптимизации маршрутов обработки деталей // Вестник Самарского муниципального института управления. - 2018. - № 3. - С. 77-85.
2. Дежина И.Г. Новые производственные технологии: публичный аналитический доклад. – М.: Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2015. – 272 с.
3. Кокарева В. В., Смелов В. Г., Шитарев И. Л. Имитационное моделирование производственных процессов в рамках концепции «бережливого производства» // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С. П. Королева (национального исследовательского университета). - 2012. - № 3-3 (34). - С. 131-136.
4. Кузнецов П.О. Применение аддитивных технологий при реализации инновационного проекта: дисс...магистра инноватики: 27.04.05.01. – СПб, 2016. – 74 с.
5. Моргунов Ю.А., Саушкин Б.П. Техничко-экономические аспекты аддитивного формообразования // Научкоемкие технологии в машиностроении. – 2016. – № 7 (61). – С. 28–35.
6. Проничев Н. Д., Смелов В. Г., Кокарева В. В., Малыхин А. Н. Имитационное моделирование производственной системы механообрабатывающего цеха // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2013. - Т. 15. - № 6-4. - С. 937-943.
7. Хаймович И. Н. Разработка производственной среды при внедрении информационных систем конструкторско-технологической подготовки производства в условиях ограничения по ресурсам. Самара: СНЦ РАН. – 2007. - 187 с.
8. Хаймович И. Н., Хаймович А. И. Проектирование и реализация системы автоматизированного проектирования штамповки компрессорных лопаток из титановых сплавов // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. - 2015. - № 2. - С. 37-43.
9. Хаймович И. Н., Хаймович А. И. Рационализация организации производства машиностроительного предприятия на основе реинжиниринга // Вестник Самарского государственного

ного аэрокосмического университета им. академика С. П. Королева. - 2006. - № 3 (11). - С. 53 - 57.

10. Chumak V. G., Ramzaev V .M., Khaimovich I. N. Challenges of data access in economic research based on big data technology // CEUR Workshop Proceedings Proceedings of International Conference Information Technology and Nanotechnology (ITNT 2015). - 2015. - С. 327-337.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF OPERATIONAL PLANNING ORDER ALLOCATION OF ADDITIVE PRODUCTION

© 2020 Alexander I. Khaimovich, Polina S. Petrova,
Victoria V. Kokareva, Vitaly G. Smelov

Samara University, Samara, Russia

In order to have a competitive advantage today, production must possess not only modern technologies for manufacturing parts and high-tech equipment, but also constantly analyze the work of the production system, offer and implement production organization processes. This paper considers a separate process for distributing orders for equipment units in a low-inventory production environment.

Keywords: the distribution algorithm, Bayesian network, the efficiency, the probability of successful manufacture of parts.