

УДК 004.89

МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПЛАНИРУЕМЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МОЩНОСТЕЙ ПРЕДПРИЯТИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МНОГОАГЕНТНОГО ПОДХОДА

Ризванов Д.А., Чернышев Е.С.

*ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет»,
Уфа, e-mail: ridmi@mail.ru, chernyshevgenij@rambler.ru*

В статье рассматриваются вопросы планирования развития производственных мощностей машиностроительного предприятия. Для осуществления расчетов необходимого количества технологического оборудования предлагается использовать систему поддержки принятия решений для управления ресурсами при календарном планировании производства, которая реализована на основе многоагентных технологий и интегрирована с информационными системами предприятия. Сформулирована задача определения требуемого модельного и количественного состава технологического оборудования для выполнения программы производства высокотехнологичной продукции. Выделены основные этапы ее решения. Для выявления узких мест, связанных с высокой нагрузкой оборудования, и последующего их устранения еще до запуска производства предлагается осуществлять проверку выполнимости производственного плана предусмотренным оборудованием с использованием разработанной ранее системой календарного планирования производства. Предлагаются методы оптимизации необходимого количества технологического оборудования и инвестиций, затрачиваемых на его приобретение. Предлагается метод переноски нагрузки между оборудованием. Разработанные методы оптимизации производственных мощностей апробированы на примере промышленного предприятия, занимающегося выпуском продукции авиационной отрасли. Применение разработанных методов оптимизации производственных мощностей предприятия позволяет оптимизировать инвестиционные затраты при реализации проектов, а также повысить точность планирования производственных мощностей.

Ключевые слова: двигателестроительное предприятие, планирование производства, производственные мощности, поддержка принятия решений, многоагентный подход, управление ресурсами, интеграция информационных систем

METHODS OF OPTIMIZATION OF PLANNED PRODUCTION CAPACITIES OF THE ENTERPRISE WITH APPLICATION OF MULTI-AGENT APPROACH

Rizvanov D.A., Chernyshev E.S.

Ufa State Aviation Technical University, Ufa, e-mail: ridmi@mail.ru, chernyshevgenij@rambler.ru

The article deals with the planning of the development of production capacities of a machine-building enterprise. To carry out calculations of the required amount of technological equipment, it is proposed to use a decision support system for resource management in production scheduling, which is implemented on the basis of multi-agent technologies and is integrated with enterprise information systems. The problem of determining the required model and quantitative composition of technological equipment for the implementation of the program for the production of high-tech products is formulated. The main stages of its solution are highlighted. To identify bottlenecks associated with a high load of equipment, and their subsequent elimination even before starting production, it is proposed to check the feasibility of the production plan with the provided equipment using the previously developed production scheduling system. Methods are proposed for optimizing the required amount of technological equipment and investments spent on its acquisition. A method is proposed for transferring the load between equipment. The developed methods of optimization of production capacities have been tested on the example of an industrial enterprise engaged in the production of aviation products. The use of the developed methods for optimizing the production capacity of the enterprise allows you to optimize investment costs in the implementation of projects, as well as to improve the accuracy of planning production facilities.

Keywords: engine manufacturing enterprise, capacity planning, decision support, multi-agent approach, resource management, information systems integration

В настоящее время при планировании производственных мощностей машиностроительных предприятий применяется метод прямого расчета на основе станкочемкости, базирующейся на программе выпуска, составе выпускаемой продукции, а также технологии и трудоемкости ее изготовления. В таком расчете на основе нормативов учитываются возможные простои технологического оборудования на плановые ремонты и обслуживание, технические перерывы и не учитываются такие аспекты произ-

водства, как простой станка в ожидании деталей, внеплановые ремонты, ожидание деталей в очереди перед станком (одновременный приход разных деталей на станок), квалификация работников, отсутствие работников на рабочем месте и другие аспекты. Поэтому метод планирования производственных мощностей, основывающийся только на станкочемкости, часто неточен. Также при разработке технологии изготовления деталей разными технологами может применяться разное технологическое обо-

рудование со схожими техническими характеристиками – заменяемое либо взаимозаменяемое технологическое оборудование. Это может привести к дублированию количества или низкой загрузке технологического оборудования и увеличению инвестиций, а для организации эффективного производства необходимо грамотное распределение предоставляемых инвестиций, основанное на точных расчетах количества оборудования, необходимого для выполнения производственной программы.

Для планирования производственных мощностей машиностроительных предприятий предлагается применение программного обеспечения, основанного на многоагентном подходе, позволяющего оптимизировать модельный и количественный состав технологического оборудования и инвестиции. Реализация многоагентного подхода в задачах планирования производства и управления производственными ресурсами показывает высокую эффективность разработанного программного обеспечения, а также высокую отказоустойчивость работы агентов и стабильность результатов [1–3].

Целью исследования является повышение концентрации инвестиций при формировании модельного и количественного состава необходимого технологического оборудования, обеспечивающего безусловное выполнение заданной производственной программы.

Для обеспечения максимально возможной точности планируемых производственных мощностей, на этапе расчета необходимо осуществлять проверку полученных значений на предмет достаточности для выполнения производственного плана, путем оперативно-календарного планирования. Это выявит оборудование с высокой нагрузкой – «узкие места» (УМ) в моделируемом производстве и позволит устранить их еще на ранних этапах – до запуска производства.

Задача определения требуемого модельного и количественного состава технологического оборудования для выполнения программы производства высокотехнологичной продукции. Планируется создание нового производства «деталей сложной формы» (ДСФ) (В связи с тем, что представленные данные носят конфиденциальный характер, информация о конечных изделиях зашифрована) перспективных авиационных двигателей. В рамках реализуемого инвестиционного проекта для создаваемого производства четко определена номенклатура (не изменена), заданы годовые объемы производства. На основе указанных дан-

ных требуется определить количественный и модельный состав необходимого технологического оборудования, разработать план его приобретения и ввода в эксплуатацию, а также приема на работу и обучения необходимого персонала. При этом необходимо минимизировать стоимость инвестиционного проекта.

В ходе планирования можно столкнуться со следующими проблемами [4]:

I. Возможное большое разнообразие необходимого технологического оборудования и, как следствие, его низкий коэффициент загрузки.

II. Планирование производственных мощностей на максимальную производственную программу возможно, но не исключает возможность простоя оборудования до пика производства и после него, а также увеличение инвестиций, необходимых на приобретение оборудования.

III. Единовременная закупка оборудования влечет за собой риски простоя оборудования до начала пика производства.

Для решения данной задачи предлагается применение многоагентной системы планирования производственных мощностей. Это позволит снизить описанные выше риски и оптимизировать планируемые производственные мощности. Данную систему предлагается применять одновременно с разработанной системой календарного планирования [5] для подтверждения правильности расчетов путем моделирования полученными мощностями выполнения производственного плана.

На рис. 1 представлены основные этапы планирования производственных мощностей.

Этап 1. «Оптимизация производственной программы» (проблема II): часть годового плана переносится на предыдущие годы для снижения трудоемкости в пиковые годы. Это влияет на количество необходимого технологического оборудования.

Этап 2. «Прямой расчет количества оборудования»: определяется годовая станкочемкость для каждой модели технологического оборудования. В расчет также добавляется время, необходимое на наладку (переналадку) оборудования, а также время простоев: технических, организационных и других [6, 7].

Этап 3. «Оптимизация состава оборудования» (проблема I): выполняется перераспределение нагрузки между оборудованием.

Этап 4. «Анализ плана на выполнимость»: рассчитанное оборудование проверяется на возможность выполнения плана в системе календарного планирования, интегрированной с информационными системами предприятия [5].

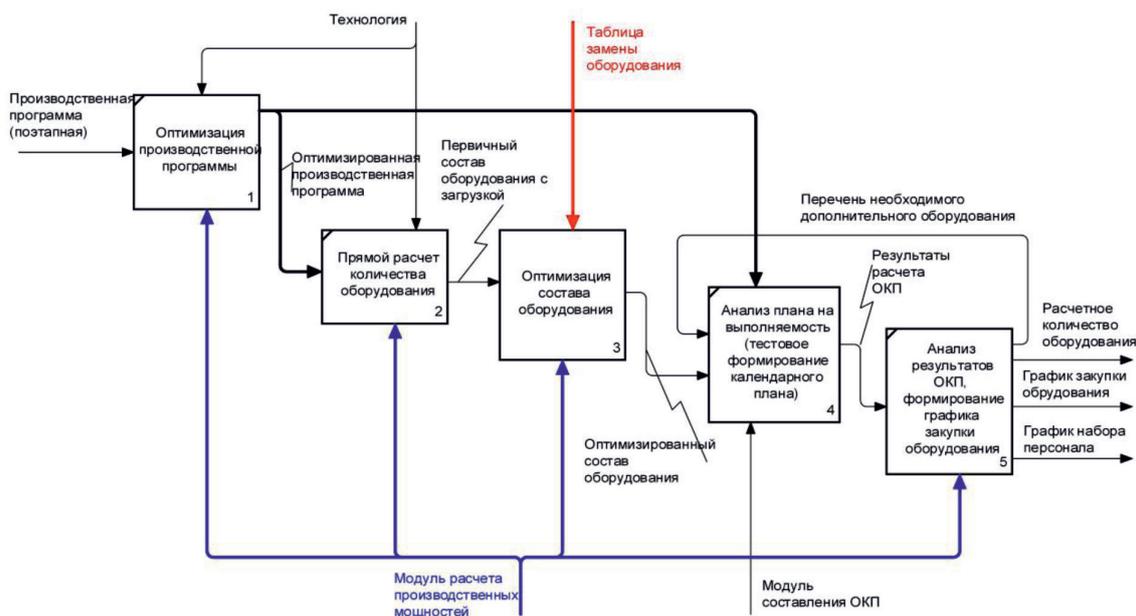


Рис. 1. Структура задачи расчета требуемых производственных мощностей

Таблица 1

План изготовления продукции, включающей ДСФ

Изделие	Моторокомплекты, шт.												
	2019	в	2020	в	2021	в	2022	в	2023	в	2024	в	2025
Изделие 1			3		2						3	3	3
Изделие 2	2		1		10	3	20	7	30	11	35	11	36
Изделие 3			5		3		14	14	52	14	53	17	53

Этап 5. «Анализ результатов ОКП, формирование графиков закупки оборудования, набора персонала» (проблема П): анализ результатов оперативно-календарного планирования (ОКП), предыдущего этапа на предмет возможности выполнения производственного плана, проявления УМ для каждой производственной программы. При наличии такого УМ модуль расчета производственных мощностей увеличивает количество необходимого оборудования в рамках количества оборудования той же модели максимальной производственной программы и повторно выполняет процесс «Анализ плана на выполняемость». По окончании устранения всех УМ генерируются перечни требуемого технологического оборудования и формируются планы его закупки (при этом учитывается время на его освоение), а также графики приема работников.

Оптимизация производственной программы. На основе заданного плана продаж двигателей с ДСФ выполняется перенос изготовления некоторых двигателей (мо-

торокомплектов) на ранние годы, то есть продукция, которая должна быть отгружена потребителю в 2023 г., может быть изготовлена в конце 2022 г. (табл. 1), символом «←» отражены переносы частей производственной программы на предыдущие годы.

На основе плана отгрузки и плана изготовления построены графики, наглядно отображающие пики производственной программы (рис. 2). Из графиков видно, что программа изготовления ДСФ в 2023–2025 гг. стала более равномерной. При этом во избежание затоваривания предприятия готовой продукцией изготовление перенесенных моторокомплектов необходимо планировать на последний квартал года.

Метод переноса нагрузки между оборудованием. Это планирование выполнения технологической операции не на изначально предусмотренной модели оборудования, а на аналогичной, либо модели с лучшими техническими характеристиками, которая уже запланирована к приобретению и имеет неполную нагрузку.

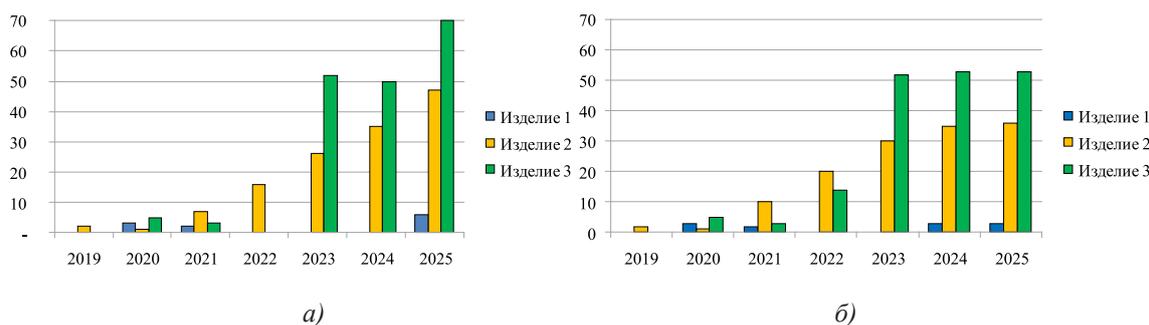


Рис. 2. График отгрузки (а) и изготовления (б) авиационных двигателей с ДСФ

Таблица 2

Трудоемкость изготовления запланированной продукции, включающей ДСФ после сглаживания производственной программы

Изделие	ДСФ	Тип оборудования	Трудоемкость, тыс. н/час							
			На деталь	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Изделие 1	1	VL-125CM	0,89	–	2,66	1,77	–	–	2,66	2,66
		G-Mill1000	0,46	–	1,37	0,91	–	–	1,37	1,37
	2	VL-125CM	0,81	–	2,44	1,62	–	–	2,44	2,44
		G-Mill1000	0,42	–	1,26	0,84	–	–	1,26	1,26
	3	VT-950MC	0,74	–	2,21	1,48	–	–	2,21	2,21
		STC800MT	0,38	–	1,14	0,76	–	–	1,14	1,14
Изделие 2	1	VL-125CM	0,27	0,54	0,27	2,72	5,43	8,15	9,50	9,78
		STC800MT	0,20	0,39	0,20	1,96	3,92	5,88	6,86	7,05
	2	VT-950MC	0,23	0,45	0,23	2,26	4,53	6,79	7,92	8,15
		STC800MT	0,16	0,33	0,16	1,63	3,26	4,90	5,71	5,88
Изделие 3	1	T800PJ	0,21	–	1,07	0,64	2,99	11,09	11,31	11,31
		C42U	0,11	–	0,53	0,32	1,49	5,55	5,66	5,66
	2	T800PJ	0,20	–	0,98	0,59	2,74	10,17	10,36	10,36
		C42U	0,10	–	0,49	0,29	1,37	5,09	5,19	5,19
	3	T800PJ	0,18	–	0,89	0,53	2,49	9,24	9,42	9,42
		C42U	0,09	–	0,44	0,27	1,25	4,63	4,72	4,72

На основе графика изготовления продукции (рис. 2, б) составлена трудоемкость выполнения операций для изготовления ДСФ планируемых изделий (табл. 2). В связи с тем, что для выполнения специальных операций необходимое количество оборудования не превышает 1 ед., представлена только трудоемкость механической обработки, которая разделена на два основных блока: токарная обработка (станки VL-125CM, VT-950MC, T800PJ) и фрезерная обработка поверхностей сложной формы (станки G-Mill1000, STC800MT, C42U).

В представленной таблице максимальная трудоемкость приходится на 2025 г., поэтому основной расчет количества оборудования ведется в разрезе данного года. В связи с тем, что оборудование дорогостоящее, для расчета принимаются режим работы 7x2x12

(7 дней в неделю, 2 смены по 12 часов, то есть круглосуточно) и годовой фонд рабочего времени 7625 часов. Результаты расчетов количества и стоимости планируемого оборудования представлены в табл. 3.

Учитывая, что токарное и фрезерное оборудование часто взаимозаменяемое (каждое в своей группе), рассмотрим возможность переноса загрузки между оборудованием. Схемы замены оборудования в результате ранжирования представлены на рис. 3.

Согласно рис. 3, а, токарный карусельный станок с ЧПУ и приводным инструментом VL-125CM позволяет обрабатывать детали большего размера, чем другие токарные станки в представленном ряду, но и является самым дорогим токарным оборудованием.

Таблица 3

Расчет количества оборудования на максимальную годовую программу

Наименование оборудования	Трудоемкость, тыс. н/час	Количество оборудования, шт.	
		Расчетное	Принятое
VL-125CM	14,87	2,29	3
VT-950MC	10,36	1,60	2
T800PL	31,09	4,80	5
G-Mill 1000	2,63	0,41	1
STC800MT	14,07	2,17	3
C42U	15,56	2,40	3
Итого:			17

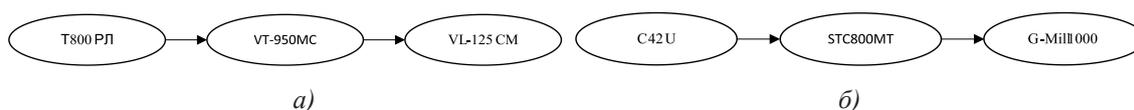


Рис. 3. Схема замены оборудования для токарной (а) и фрезерной (б) обработки (модель улучшается по направлению стрелок)

Таблица 4

Количество оборудования для выполнения максимальной годовой программы после оптимизации

Модель оборудования	Трудоемкость, тыс. н/час	Количество оборудования			
		Расчетное	Перенос загрузки	Итоговое	Принятое
VL-125CM	14,87	2,29	–	3,00	3
VT-950MC	10,36	1,60	0,71↑	1,00	1
T800PL	31,09	4,80	0,11↑	4,69	5
G-Mill 1000	2,63	0,41	–	1,00	1
STC800MT	14,07	2,17	0,59↑	2,00	2
C42U	15,56	2,40	0,42↑	1,98	2
Итого:					14

Из рис. 3, б, видно, что пятиосевой фрезерный станок с функцией точения и автоматической сменой инструмента G-Mill 1000 является самым универсальным по части номенклатуры, но и самым дорогим фрезерным оборудованием для обработки ДСФ.

Применяя рис. 3, а и б, оптимизируем состав оборудования путем переноса нагрузки между оборудованием. Расчеты необходимого количества оборудования после оптимизации представлены в табл. 4.

Таким образом, оптимизация состава оборудования путем переноса нагрузки в данном случае позволила снизить количество необходимого оборудования на 3 ед., что благоприятно влияет на объем финансирования без ухудшения параметров проекта – возможности выполнения производственной программы.

Заключение

Рассмотрена задача определения необходимого количества технологического

оборудования для вновь создаваемого производства. Описаны проблемы, возникающие при планировании производственных мощностей нового производства. Предложен метод оптимизации состава приобретаемого технологического оборудования. Основное отличие предлагаемого подхода в планировании производственных мощностей от общепринятых заключается в применении программного обеспечения, основанного на многоагентных технологиях, а также проверка правильности расчетов путем моделирования календарного плана производства в интегрированной многоагентной системе календарного планирования. Это позволяет оптимизировать инвестиционные затраты при реализации проектов, а также повысить точность планирования производственных мощностей.

Данное исследование частично поддержано грантами РФФИ 18-07-00193-а, 19-07-00895-а.

Список литературы

1. Загидуллин Р.Р. Управление машиностроительным производством с помощью систем MES, APS, ERP: монография. Старый Оскол: ТНТ, 2011. 372 с.

2. Ржевский Г.А., Скобелев П.О. Как управлять сложными системами? Мультиагентные технологии для создания интеллектуальных систем управления предприятиями. Самара: Офорт, 2015. 291 с.

3. Скобелев П.О. Интеллектуальные системы управления ресурсами в реальном времени: принципы разработки, опыт промышленных внедрений и перспективы развития // Приложение к журналу «Информационные технологии». 2013. № 1. С. 1–32.

4. Ризванов Д.А., Чернышев Е.С., Ризванов К.А. Планирование производственных мощностей предприятия

с применением многоагентного подхода // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 5. С. 91–95.

5. Ризванов Д.А., Юсупова Н.И. Применение интеллектуальных технологий управления ресурсами при календарном планировании производства // Интеллектуальные системы в производстве. 2018. Т. 16. № 4. С. 130–137.

6. Волчкевич И.Л. Расчет необходимого количества оборудования при проектировании технологических комплексов в условиях многономенклатурного производства // Электронное научно-техническое издание НАУКА и ОБРАЗОВАНИЕ. 2012. № 3. [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.booksc.xyz/book/36521259/a1be57> (дата обращения: 15.07.2020).

7. Киселёв Е.С. Методики расчёта механосборочных и вспомогательных цехов, участков и малых предприятий машиностроительного производства: учебное пособие. Ульяновск: Ульяновский государственный технический университет, 2012. 133 с.