

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА ОБОРУДОВАНИЯ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Галкин В.И. *, Кузина С.М. **

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
МАИ, Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия

* e-mail: galkin@mai.ru

** e-mail: bart_spa@mail.ru

Предложена методика оптимизации количества рабочих мест для предприятий с переменной программой выпуска продукции. Построена многоуровневая имитационная модель производственной среды, на основе которой проведен эксперимент с использованием целевой функции определения оптимального числа оборудования при различных заданных параметрах объемов производства. Результаты эксперимента обработаны по методике планирования четырехфакторного эксперимента. Получена функциональная зависимость в виде полинома от факторов количества оборудования и объема производства. Разработанная методика может быть использована как один из инструментов при создании систем принятия управленческих решений.

Ключевые слова: оптимизация, принятие инженерных решений, имитационное моделирование, планирование эксперимента, регрессионный анализ.

В условиях современной рыночной экономики одной из основных задач предприятий является оптимизация использования производственных ресурсов. Развитие экономики и информационных технологий привело к появлению различных методов, на основании которых разработаны программные системы управления производством. Крупные компании для управления производством используют ERP-системы, средним и малым предприятиям применять подобные системы экономически не выгодно, так как чаще всего они не имеют ресурсов для использования таких программных продуктов. Поэтому для них возможно применение программ на основе методики на базе имитационного моделирования, которая предлагается в данной работе.

Вопрос оптимального количества оборудования напрямую зависит от планируемого объема выпуска изделий. Для ряда предприятий характерна частая смена объемов производства в определенных пределах. Специалистам, занимающимся организацией производства, важно своевременно реагировать на изменения спроса и производственного плана. Для этого строится взаимосвязь, которую первоначально можно представить в виде «черного ящика» (рис. 1).

«Черный ящик» характеризуется входными и выходными параметрами. Предполагается, что входные параметры с учетом условий оптимизации преобразуются в выходные. В рассматриваемом примере входными параметрами являются планы

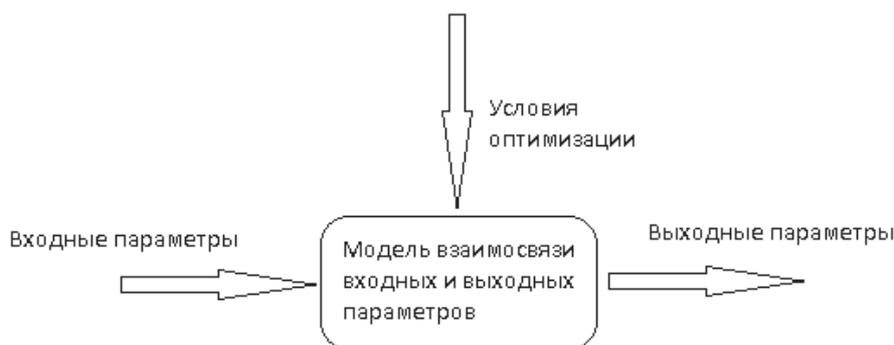


Рис. 1. Взаимосвязь входных и выходных параметров

выпуска продукции разных типов, выходными параметрами — количество оборудования (ресурсов), необходимого для выполнения производственного плана. Для создания модели взаимосвязи входных и выходных параметров эффективно использование имитационного моделирования. Важной задачей является разработка методики построения подобных моделей.

Реализация модели приводит к получению численных решений для конкретных условий входных параметров. Расчет функции с разными вариантами входных параметров занимает достаточно много времени. Средства имитационного моделирования позволяют в короткие сроки моделировать изучаемые процессы, которые могут рассчитываться при различных входных данных.

Для исследования данной методики разработана имитационная модель с помощью системы AnyLogic [1–3], которая обладает большим количеством инструментов, позволяющих моделировать различные производственные процессы.

Постановка задачи

Предприятие планирует производить продукцию нескольких типов на заказ. Условно назовём их А, Б и В. На стадии технологической подготовки производства разработаны технологии производства изделий, с помощью имитационного моделирования сформированы фотографии рабочего дня. Каждое изделие производится путем сборки из ряда деталей, которые закупаются у поставщиков или производятся непосредственно на предприятии путем штамповки с последующей механической обработкой. Для изделий Б и В технология изготовления предусматривает производство этих комплектующих. Изделие А полностью состоит из покупных компонентов. Поэтому технологическая схема производства комплектующих деталей и самой сборки раскладывается в схему, изображенную на рис. 2.

Решение задачи

С помощью AnyLogic произведено моделирование ситуации, создана модель, в которой можно задавать время на каждом этапе изготовления как основной продукции, так и комплектующих изделий. Имеется возможность моделирования ситуации с различным числом сборочных постов X_1 . Это удобно, если предприятие, например, планирует увеличить объем производства (X_2, X_3, X_4) и хочет рассчитать оптимальное количество рабочих мест. На стадии подготовки производства можно определить необходимое число оборудования для начала

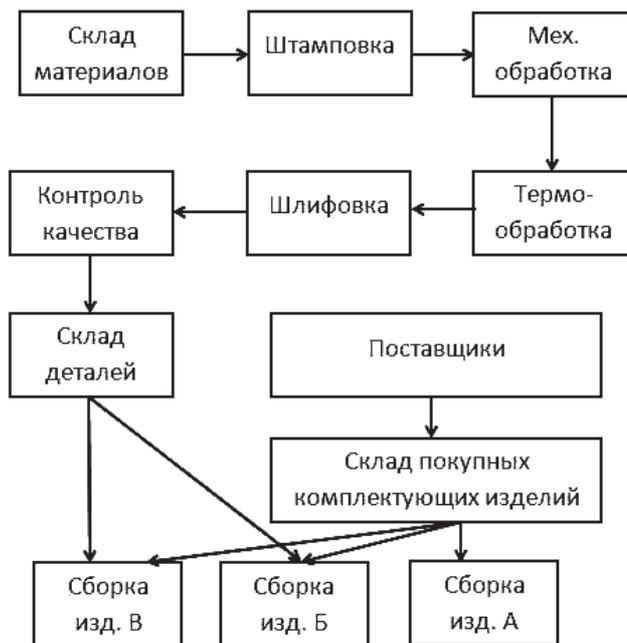


Рис. 2. Технологическая схема производства

функционирования предприятия и спрогнозировать появление необходимости увеличения ресурсов.

На рис. 3 представлена схема изготовления продукции, отражающая движение комплектующих ча-

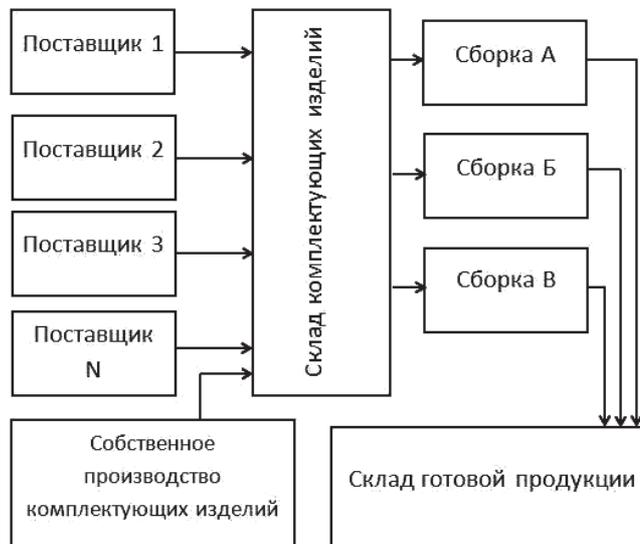


Рис. 3. Схема движения комплектующих изделий

стей со склада покупных изделий на рабочее место для сборки каждого типа продукции. Дополнительно приведена основная диаграмма процессов, выполненная в программе имитационного моделирования (рис. 4).

Слева на диаграмме точками изображены комплектующие детали, которые распределяются на три вида продукции в зависимости от её состава. На данной диаграмме сборка каждого вида продукции представлена в виде отдельного блока, который

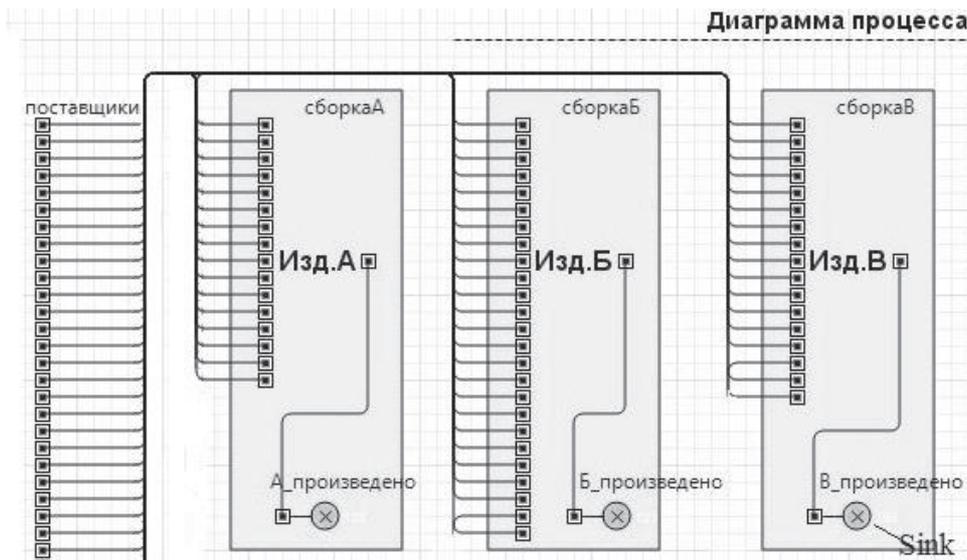


Рис. 4. Диаграмма изготовления основной продукции предприятия

скрывает основные процессы сборки. Процесс сборки каждого вида продукции заканчивается объектом Sink, который является объектом AnyLogic и представляет собой счетчик выпущенной продукции каждого типа.

Каждый блок изделия раскрывается в подробную схему сборки (рис. 5). Блоки Assembler осуше-

Схема собственного производства компонентов видна из технологической схемы производства (см. рис. 2). Также приведена диаграмма процесса, выполненная в среде имитационного моделирования (рис. 6), которая отражает движение заготовки от склада до передачи на изготовление основного вида

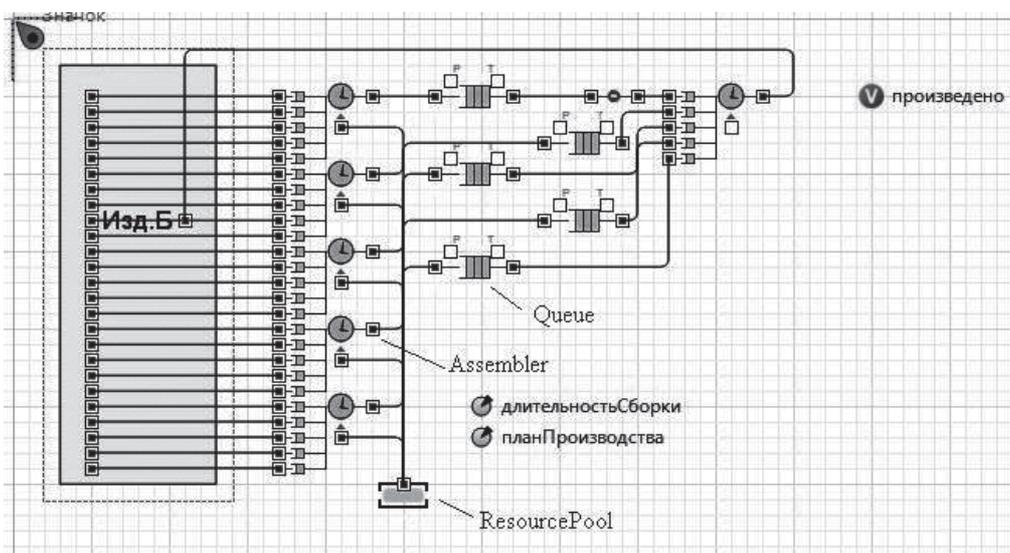


Рис. 5. Схема сборки изделия Б

ствляют сборку изделия из нескольких имеющих комплектующих. Объект ResourcePool содержит в себе информацию о ресурсах, которые необходимы для реализации сборки (например, количество сборочных постов). Объекты Queue хранят в себе время, необходимое на изготовление одной единицы продукции. С помощью параметров «длительностьСборки» и «планПроизводства» задаются значения этих показателей. Переменная «произведено» накапливает в себе выходные данные, т.е. производит подсчет изготовленной продукции.

продукции и рассчитывает количество возможного брака с учетом заданной вероятности.

Процесс производства реализуется во времени, поэтому длительность выполнения каждой операции на этой схеме определяется экспериментально на базе фотографии рабочего времени. В AnyLogic эти параметры задаются с помощью объектов Service, которые задают количество ресурсов и задерживают их на указанное в соответствующем параметре время. Объект Batch накапливает необ-

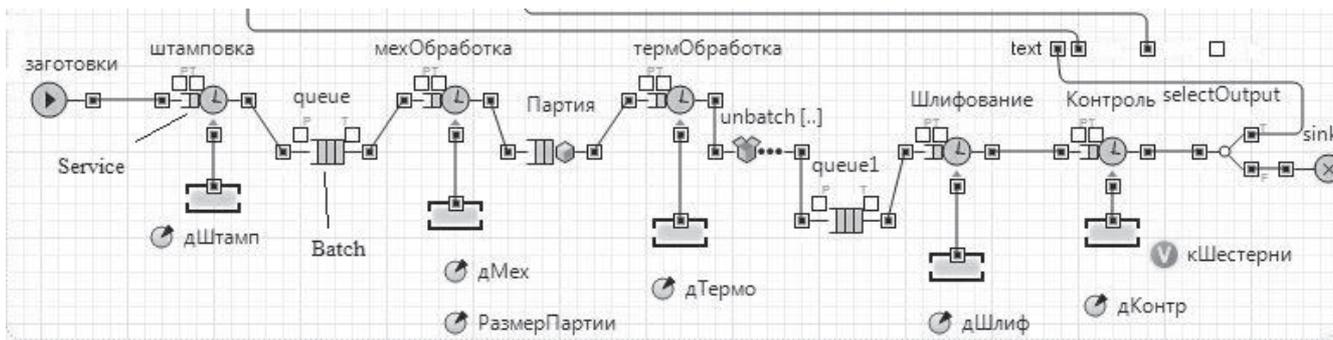


Рис. 6. Схема производства компонентов

ходимое количество деталей и преобразует их в партию для последующей термообработки. По завершении операции с помощью объекта unbatch партия делится на количество деталей, входящих в нее. После объекта Service «Контроль» изделия сортируются: на производство изделий Б и В или брак.

По умолчанию в цехе функционирует три сборочных поста. Все виды основной продукции могут изготавливаться на любом рабочем месте. Построение визуальной модели позволяет наглядно увидеть, насколько загружено оборудование, а значит, сделать выводы о необходимости внесения ка-

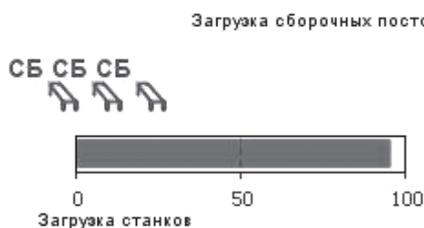


Рис. 7. Диаграмма загрузки оборудования

ких-либо изменений в составе технологического оборудования или разработать методику устранения «узких мест» производства. Система отслеживает в процентном соотношении загрузку оборудования и позволяет наглядно увидеть факт простаивания оборудования. Для расчета процента загрузки оборудования на диаграмму процесса добавлен объект chart — столбиковая диаграмма (рис. 7).

Каждый поставщик поставляет разное количество деталей. Более подробно передача деталей от внешних поставщиков на склад представлена на диаграмме, выполненной в программе AnyLogic (рис. 8). С помощью объектов SelectOutPut задается количество закупаемых изделий, которые передаются на склад комплектующих.

Из схемы видно, что комплект поставки от поставщика 1 состоит из двух позиций, поставщик 2 отправляет восемь типов деталей и т.д.

Далее на базе полученной имитационной модели построен оптимизационный эксперимент, который учитывает все использованные параметры. В

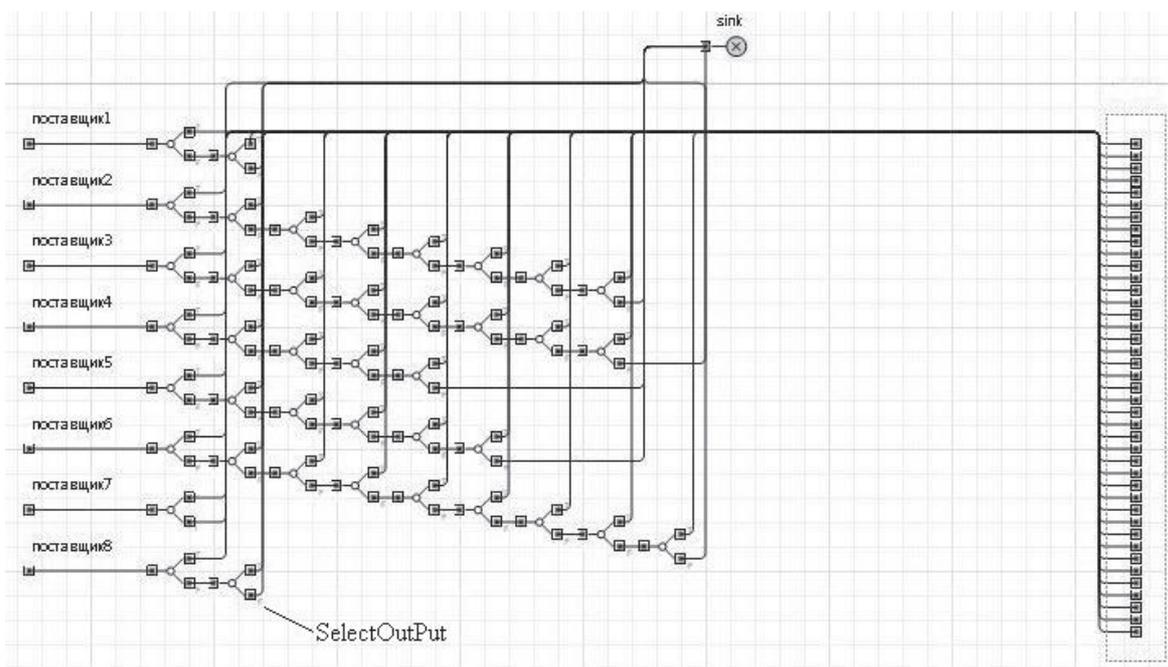


Рис. 8. Схема передачи деталей от поставщика на склад

качестве целевых функций рассмотрим число произведенной продукции A , коэффициент загрузки оборудования K_z , а также приведенный эффект производства Z :

$$\begin{aligned} A &\rightarrow \max; \\ K_z &\rightarrow \max; \\ Z = AK_z &\rightarrow \max. \end{aligned} \quad (1)$$

На рис. 9 изображен график интегрированного показателя Z , из которого видно, что максимальный эффект производства при программе выпуска, заданной с 1 по 13 эксперимент (таблица), достигается при наличии трех рабочих мест. Далее целесообразно использование пяти рабочих мест.

С помощью оптимизационного эксперимента в AnyLogic получены результаты возможного выпуска

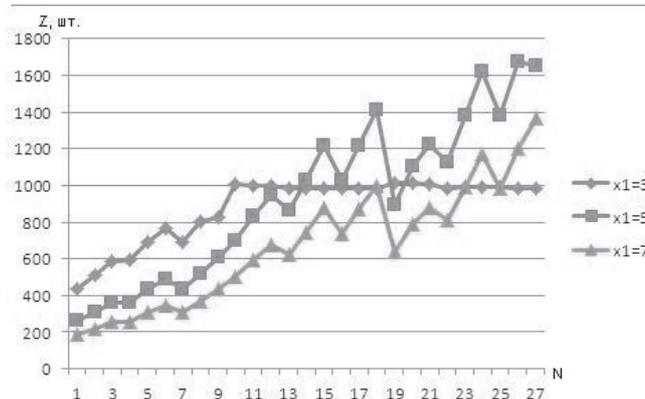


Рис. 9. График приведенного эффекта производства продукции для разных вариантов соотношения количества оборудования и объемов производства. Эти результаты сведены в таблицу, где N — порядковый номер эксперимента, X_1 — количество сбо-

Результаты оптимизационного эксперимента

N	X ₂	X ₃	X ₄	X ₁		
				3	5	7
1	1	2	4	437,91	262,91	189,12
2			5	512,72	309,4	220,12
3			6	585,2	358,08	253,65
4		3	4	591,23	364,6	258,23
5			5	694,47	434,08	310,92
6			6	767,9	487,92	349,69
7		4	4	693,51	433,6	309,09
8			5	806,42	516,41	365,14
9			6	824,8	608,62	435,92
10	5	2	4	1007,44	697,48	501,51
11			5	1002,43	834,27	594,2
12			6	1000,38	945,52	676,25
13		3	4	986,39	865,49	620,02
14			5	981,44	1027,01	744,23
15			6	985,5	1216,81	878,34
16		4	4	982,44	1028,37	735,35
17			5	985,39	1216,42	872,17
18			6	986,41	1413,08	1000,79
19	8	2	4	1016,41	890,75	640,7
20			5	1011,39	1104,59	785,53
21			6	1009,36	1224,21	881,21
22		3	4	987,44	1123,13	807,78
23			5	993,42	1379,09	990,95
24			6	990,43	1625,85	1174,7
25		4	4	990,32	1381,04	980,68
26			5	986,42	1677,61	1201,26
27			6	985,43	1653,97	1363,89

рочных постов (шт.), X_2 — объем производства изделий типа А (тыс. шт.), X_3 — объем производства изделий типа Б (тыс. шт.), X_4 — объем производства изделий типа В (тыс. шт.).

Получены численные решения для каждого варианта. Однако, если таких вариантов много, их результаты можно обработать методом планирования эксперимента [4] и получить общую зависимость, которая позволит для разных случаев выполнения программы без дополнительных расчетов получать выходные значения загрузки оборудования. Таким образом, происходит переход от решения единичной оптимизационной задачи к получению общего решения.

На основе критерия Фишера определены наименее значимые связи факторов и получены уравнение зависимости и ее график (рис. 10):

$$Z = 952,89 - 56,03x_1 + 188,3x_2 + 68,58x_3 + 50,61x_4 + 22,8x_1x_2 - 42,46x_1^2 - 20,27x_2^2 - 9,72x_3^2 - 5,84x_4^2. \quad (2)$$

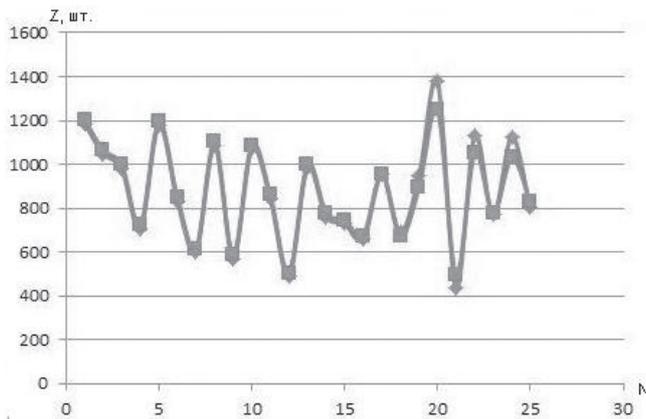


Рис. 10. Анализ четырехфакторного эксперимента

Выводы

1. Рассмотрена схема работы предприятия, производящего несколько видов продукции посредством сборки из покупных и собственных комплектующих деталей. Разработанная в ходе исследования имитационная модель позволяет строить и оптимизировать различные производственные системы. Модель позволяет корректировать значения всех использованных параметров, таких, как количество оборудования, объем выпускаемой продукции, длительности этапов технологической схемы и др.

2. На базе построенной модели проведен оптимизационный эксперимент, который позволяет рассчитать оптимальное число оборудования для заданного объема производства всех типов продукции. Предложены целевые функции с оптимизаци-

ей по производительности. С помощью этого инструмента, путем варьирования значений программы выпуска изделий, получены результаты производительности для каждого эксперимента.

3. Установлено, что на интервале с 1 по 13 эксперимент наиболее благоприятной является эксплуатация минимального количества рабочих мест. Далее целесообразно использование пяти рабочих мест. Большее количество рабочих мест не является оптимальным ни в одном из экспериментов при заданных границах объемов производства продукции.

4. Полученные результаты обработаны по методике планирования эксперимента. Получено уравнение для расчета приведенного эффекта производства в зависимости от количества сборочных постов и объема производства изделий.

5. Данная математическая модель дает возможность разработки методики определения оптимальных условий работы сборочного производства. Предложенный метод является универсальным и может быть использован для различных типов производства.

Библиографический список

1. Агеева Н. Г., Ребий Е.Ю. Особенности управления процессами создания инновационной продукции на предприятиях авиационно-промышленного комплекса // Вестник Московского авиационного института. 2013. Т.20. №5. С. 207-216.
2. Мантуров Д.В., Клочков В.В. Система прогнозирования и обеспечения реализуемости производственных программ авиационной промышленности // Вестник Московского авиационного института. 2012. Т.19. №1. С. 163-172.
3. Катаевский Д.Ю. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении: Учебное пособие. — М.: ИД «Дело» РАНХиГС, 2015. — 496 с.
4. Киселёва М.В. Имитационное моделирование систем в среде AnyLogic: Учебно-методическое пособие. — Екатеринбург: УГТУ — УПИ, 2009. — 88 с.
5. Маликов Р.Ф. Практикум по имитационному моделированию сложных систем в среде AnyLogic 6: Учебное пособие. — Уфа: Изд-во БГПУ, 2013. — 296 с.
6. Лунев В.А. Математическое моделирование и планирование эксперимента. — СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2012. — 153 с.
7. Дунаев Д.В. Анализ применения методов экспертных оценок при планировании наземной экспериментальной отработки изделий ракетной техники // Вестник Московского авиационного института. 2016. Т.23. №2. С. 92-99.

BUILDING A MODEL FOR OPTIMAL QUANTITY DETERMINATION OF MANUFACTURING FACILITIES

Galkin V.I.* , Kuzina S.M.**

Moscow Aviation Institute (National Research University),
MAI, 4, Volokolamskoe shosse, Moscow, A-80, GSP-3, 125993, Russia

* e-mail: galkin@mati.ru

** e-mail: bart_spa@mail.ru

Abstract

The paper presents a technique for a number of work places optimization at the enterprise with variable product release program. The developed technique is based on simulation and experimental design. The paper considers the operation of the enterprise manufacturing several kinds of products by assembling either purchased components or produced at this enterprise. The simulation model developed in the course of this study allows build and optimize manufacturing resources under various variants of enterprise's target figures.

The model was built with AnyLogic program, which allows specify time intervals at every stage of manufacturing either major product, or associated items. There is a possibility to model the situation with various number of assembling departments.

Based on the built model the authors carried out the optimization experiment, which allows compute an optimal number of equipment for the specified work-order quantity for all types of products. The paper suggests goal functions with productivity optimization. Using this instrument the results for each experiment were obtained by varying values of run-out production plan. It is found on what production volumes minimum quantity of equipment is optimal, and at what moment the number of working places should be increased. It is also determined that maximum possible quantity of equipment under specified production volume boundaries is not necessary.

The obtained results were processed according to the experimental design technique. The equation for corrected production effect computation as function of a number of assembling departments and products production volume. The proposed method is universal and can be applied for various types of production. The developed technique can be used as one of the instruments while developing the system of managerial decision making.

Keywords: optimization, adoption of engineering solutions, simulation modeling, experimental design, regression analysis.

References

1. Ageeva N. G., Rebi E.Yu. *Vestnik Moskovskogo aviatsionnogo instituta*, 2013, vol. 20, no. 5, pp. 207-216.
2. Manturov D. V., Klochkov V. V. *Vestnik Moskovskogo aviatsionnogo instituta*, 2012, vol. 19, no. 1, pp. 163-172.
3. Katalevskii D.Yu. *Osnovy imitatsionnogo modelirovaniya i sistemnogo analiza v upravlenii* (Fundamentals of simulation and system analysis in management), Moscow, Delo, 2015, 496 p.
4. Kiseleva M.V. *Imitatsionnoe modelirovanie sistem v srede AnyLogic: uchebno-metodicheskoe posobie* (Simulation systems in AnyLogic environment), Ekaterinburg, UGTU - UPI, 2009, 88 p.
5. Malikov R. F. *Praktikum po imitatsionnomu modelirovaniyu slozhnykh sistem v srede AnyLogic 6* (Workshop on complex systems simulation in AnyLogic 6 environment), Ufa, BGPU, 2013, 296 p.
6. Lunev V.A. *Matematicheskoe modelirovanie i planirovanie eksperimenta* (Mathematical modeling and experiment planning), St. Petersburg, Politehnicheskii universitet, 2012, 153 p.
7. Dunaev D.V. *Vestnik Moskovskogo aviatsionnogo instituta*, 2016, vol. 23, no. 2, pp. 92-99.