

УДК 330.4+658.512

© В. П. Махитько¹, И. Н. Хаймович^{2,3}, А. С. Клентак³, 2019

¹ Ульяновский институт гражданской авиации им. Главного маршала авиации Б. П. Бугаева (УИ ГА), Россия

² Самарский университет государственного управления
«Международный институт рынка»
(Университет «МИР»), Россия

³ Самарский национальный исследовательский университет им. академика С. П. Королева
(Самарский университет), Россия

E-mail ^{1,2,3}: charming_carrot@mail.ru

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В МЕЛКОСЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Статья посвящена вопросам планирования мелкосерийного производства с применением имитационной модели. Одним из эффективных и наглядных инструментов имитационного моделирования является карта потока создания ценности, которая позволяет идентифицировать и исключить основные потери, характерные для мелкосерийного производства. Результатом работы является карта потока создания ценности (будущее состояние), построенная для механосборочного цеха. С ее помощью авторам удалось сократить длительность производства на 6 дней; увеличить значение добавочной стоимости на 8%, что в конечном итоге привело к увеличению оборачиваемости оборотных средств и высвобождению активов.

Ключевые слова: имитационное моделирование, карта потока создания ценности, потери, планирование.

Одним из главных элементов умного производства является применение электронной модели, как изделия, так и производственной системы, с целью идентификации и ликвидации потерь мелкосерийного производства: перепроизводство, ожидание, лишняя транспортировка, избыток запасов, лишние движения. Для описания производственных процессов применяются методы динамического имитационного моделирования, которые на основании маршрутных и операционных технологических процессов определяют характеристики потоков деталей и заготовок с учетом различных статистических факторов (простои и поломка оборудования, отклонения от заданной производственной программы и т.п.). Построение имитаци-

онной модели производственного участка позволяет балансировать производственные потоки с оптимизацией межоперационных заделов, определять реальную (динамическую) производительность участков, цехов, достоверно осуществлять долгосрочное и оперативное планирование, проводить диспетчеризацию, что наиболее актуально для мелкосерийного производства.

Целью данной работы является определение времени производственного цикла механосборочных операций, причин и значений потерь времени путем построения имитационной модели участка мелкосерийного производства.

Объектом исследования является участок мелкосерийного производства, а предметом исследования — методы имитационного моделирования для определения длительности производственного цикла и потерь.

Функционирование сборочного цеха основывается на определении приоритетов заказов, плановых сроков и их смещения, запаздывания заказов [1]. Поступление работ в виде потока заказов требует рассмотрения применимости теории массового обслуживания. При планировании мелкосерийного производства с помощью операций над базовыми матрицами, определяемыми целями предприятия и сложившейся ситуацией («Цех» — «Операция», «Срок» — «Изделие» и др.), осуществляется переход от конечной цели — создания изделия — к плану повышения технологической оснащенности, отображением которого является матрица «Срок» – «Заказ» (табл. 1). Данная матрица является прогнозным графиком технологической подготовки производства.

Таблица 1

Матрицы планирования

Код	Строки	Столбцы	Элементы	Нормировка
$A = \ a_{ij}\ $ матрица «Срок» – «Изделие»	i_a – анализируемый период	j_a – номер изделия	Прирост оснащенности за соответствующий период в долях единицы	$\forall j: \sum_i a_{ij} = 1$
$C = \ c_{ij}\ $ матрица «Цех» – «Операция»	i_c – номер цеха	j_c – тип операции	Доля типа операций в трудоемкости работ цеха	$\forall i: \sum_j c_{ij} = 1$
$D = \ d_{ij}\ $ матрица «Изделие» – «Цех»	i_d – номер изделия	j_d – номер цеха	Доля трудоемкости работ цеха в трудоемкости процесса	$\forall i: \sum_j d_{ij} = 1$

Окончание табл. 1

$E = \ e_{ij}\ $ матрица «Оснастка» – «Заказ»	i_e – тип оснастки	j_e – номер заказа	Вероятность появления оснастки в требованиях заказа	$\forall j: \sum_i e_{ij} = 1$
--	----------------------	----------------------	---	--------------------------------

После распределения заказов по рабочим местам, соответствующим их сложности, необходимо упорядочить заказы на рабочем месте и определить срок исполнения (табл. 2).

Качество расписания оценивается функцией:

$$q = \sum_{i=1}^h \sum_{j=1}^m f_{ij} \Delta t_{ij},$$

где:

h – количество периодов (горизонт) планирования;

m – количество заказов, для которых оценивается качество расписания (чаще всего – одновременно запускаемых в работу);

Δt_{ij} – превышение срока исполнения, равное разности элементов матрицы $(R \cdot T)^T$ и матрицы E в случае, если элемент матрицы $(R \cdot T)^T$ больше соответствующего элемента матрицы E , и 0 в противном случае;

f_{ij} – штрафы, значения которых определяются по формуле:

$$f_{ij} = k \cdot a_{ij}^k,$$

где:

k – коэффициент пропорциональности (может быть выбран произвольно из соображений удобства расчета);

k_{ij} – элемент матрицы «Срок» – «Изделие», для которого i соответствует плановому сроку данного заказа, j – изделию.

Таблица 2

Определение сроков заказов

Код	Строки	Столбцы	Элементы	Нормировка
$E^T = \ e_{ij}\ $ матрица «Заказ» – «Оснастка»	i_e – номер заказа	j_e – код оснастки	Вероятность наличия типа оснастки в заказе	$\forall i: \sum_j e_{ij} = 1$
$V = \ v_{ij}\ $ матрица «Оснастка» – «Трудоемкость»	i_v – код оснастки	j_v – ряд нормируемых значений трудоемкости	Вероятность проектирования в течение заданного времени	$\forall i: \sum_j v_{ij} = 1$

Окончание табл. 2

$S = \ s_{ij}\ $ матрица «Заказ» – «Стадия»	i_s – номер заказа	j_s – номер этапа вы- полнения	Прирост готов- ности заказа на стадии	$\forall i: \sum_j s_{ij} = 1$
$R = \ r_{ij}\ $ матрица отне- сения к рабо- чему месту	i_r – номер заказа	j_r – код конструк- тора	Доля конструк- тора в выполне- нии заказа	$\forall i: \sum_j r_{ij} = 1$
$L = \ l_{ij}\ $ матрица парал- лельности работ	i_l – номер заказа	j_l – код конструк- тора	Доля времени, затраченная на выполнение за- каза в данном периоде	$\forall j: \sum_i l_{ij} = 1$

Сформировать матрицы планирования мелкосерийного производства и определить время производства, выполнения заказов можно с применением инструментов имитационного моделирования [2]. Имитационная модель позволяет сократить суммарную трудоемкость выполняемых работ за счет повышения коэффициента наследования работ, учитывать приоритет работ, планировать загрузку и, соответственно, повысить ритмичность и качество работ.

В данной работе примером для построения имитационной модели послужил производственный участок по сборке демпферов ПО Tecnomatix Plant Simulation (предприятие АО «Авиакор – авиационный завод»).

Исходные данные для построения модели представлены в таблице 3.

Таблица 3

Исходные данные

Показатель	Количество
Программа выпуска демпферов, шт./мес.	32
Технологические потери, %	5
Число рабочих дней в месяц, дн.	22
Режим работы, смена	1
Продолжительность рабочей смены, ч	8
Процент потерь рабочего времени на переналадку рабочих мест, %	5

В таблице 4 приведен технологический процесс сборки демпферов.

Технологический процесс сборки демпфера

Сборочная единица (Сб)	№ сборочного перехода	Наименование операций	T, мин
Сб1	1	Слесарная	23,8
Сб2			
Сб3	2	Слесарная	32,8
Сб4			
Сб5	3	Слесарная	17
Сб6			
Сб7			
Сб8	4	Слесарная	60,4
Сб9			
Сб10	5	Слесарная	10,7
Сб11	6	Слесарная	43
Сб12	7	Слесарная	15

Поток создания ценности – это все действия (как добавляющие, так и не добавляющие ценность), необходимые, чтобы провести изделие через следующие основные потоки операций:

- 1) производственный поток (от сырья до готовой продукции);
- 2) поток проекта (от концепции до выпуска первого изделия).

С помощью карты потока создания ценности можно детально описать, как должны работать цеха (участки), чтобы появился поток [3].

Имитационная модель, построенная для участка мелкосерийного производства на примере производственного цеха (участка) по сборке демпферов, представлена на рисунке 1.

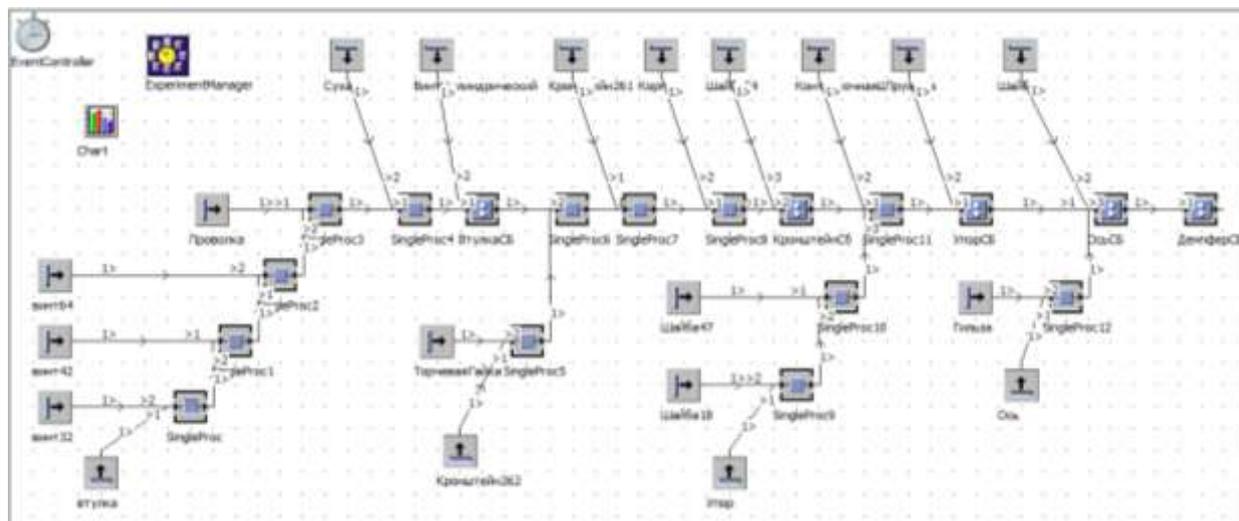


Рис. 1. Имитационная модель механосборочного цеха (участка)

Карта текущего состояния производства необходима для анализа текущих процессов механосборочного цеха (участка). Построение карты потока создания ценности текущего состояния (см. рис. 2) позволило увидеть значительную разницу между временем выполнения заказа и временем обработки. Потери времени и увеличение цикла изготовления продукции в механосборочном цехе связаны в основном с подготовительно-заключительными операциями, а также со временем межоперационного простоя деталей. Причины потерь в процессе подготовительных работ производства: некачественное планирование производства, несвоевременное поступление комплектующих, оснастки и материалов. Существенной проблемой в цехе является частый выпуск отделами изменений чертежей деталей, а также несвоевременное информирование о проделанных изменениях. Все это приводит к потере времени на уточнение данных, к увеличению трудоемкости. На предприятии общее время обработки и сборки демпферов составляет только 8,4 дня, при этом время общего прохождения изделий (демпферов) через весь цех (участок) составляет 25 дней. Это свидетельствует о том, что производственный процесс включает в себя деятельность, не добавляющую ценности. Улучшения необходимо направить на снижение данного показателя, чтобы сократить время выполнения заказа для ускорения оборачиваемости оборотных средств [4].

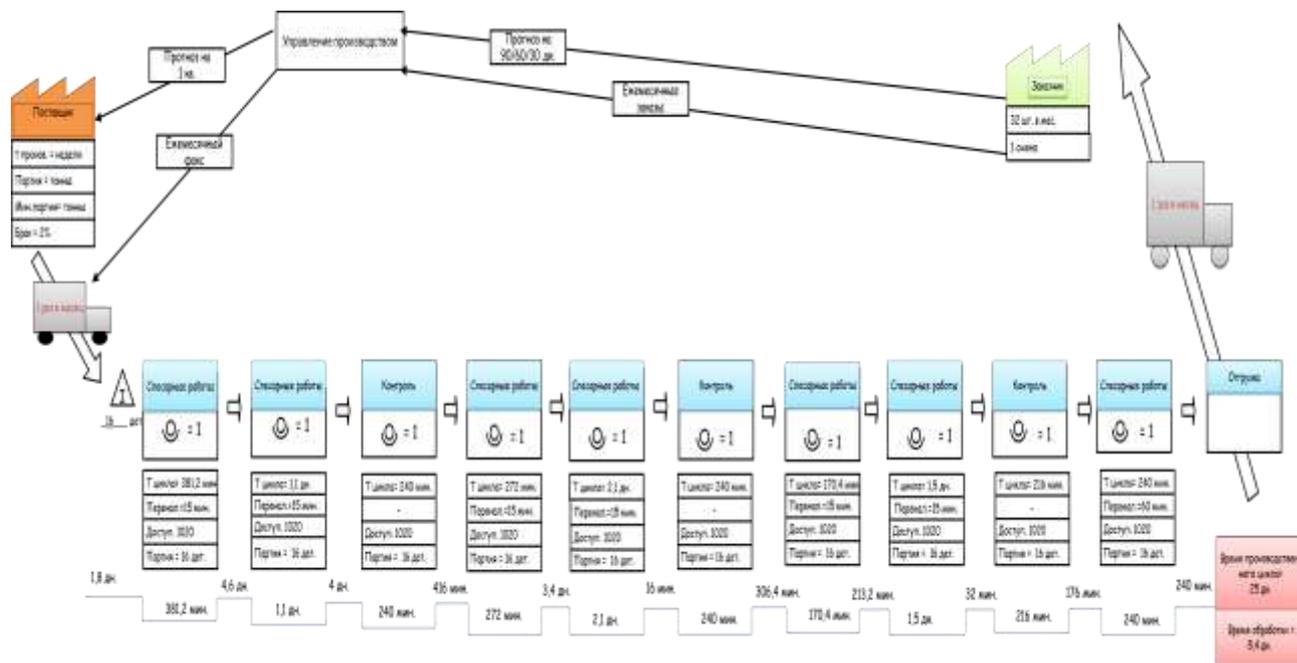


Рис. 2. Обобщенная карта потока создания ценности (текущее состояние)

Сокращение длительности производственного цикла — один из важнейших источников интенсификации и повышения эффективности производства на промышленных предприятиях [5]. Под этим понимается сокращение времени непосредственного воздействия труда на предметы труда и времени перерывов. В течение времени перерывов не происходит производственного потребления предметов труда, но при этом они находятся в процессе производства. Следовательно, чем больше время перерывов, тем больше при одном и том же объеме выпускаемой продукции в единицу времени величина незавершенного производства. Например, применив на предприятии программу «Бережливое производство» (5S, канбан, кайзен), можно достигнуть следующих результатов: сократить время выполнения заказа на 6 дней, а время обработки на 0,5 дня. В итоге время выполнения заказа составит 19 дней, а время обработки станет равным 7,9 дня (см. рис. 3).

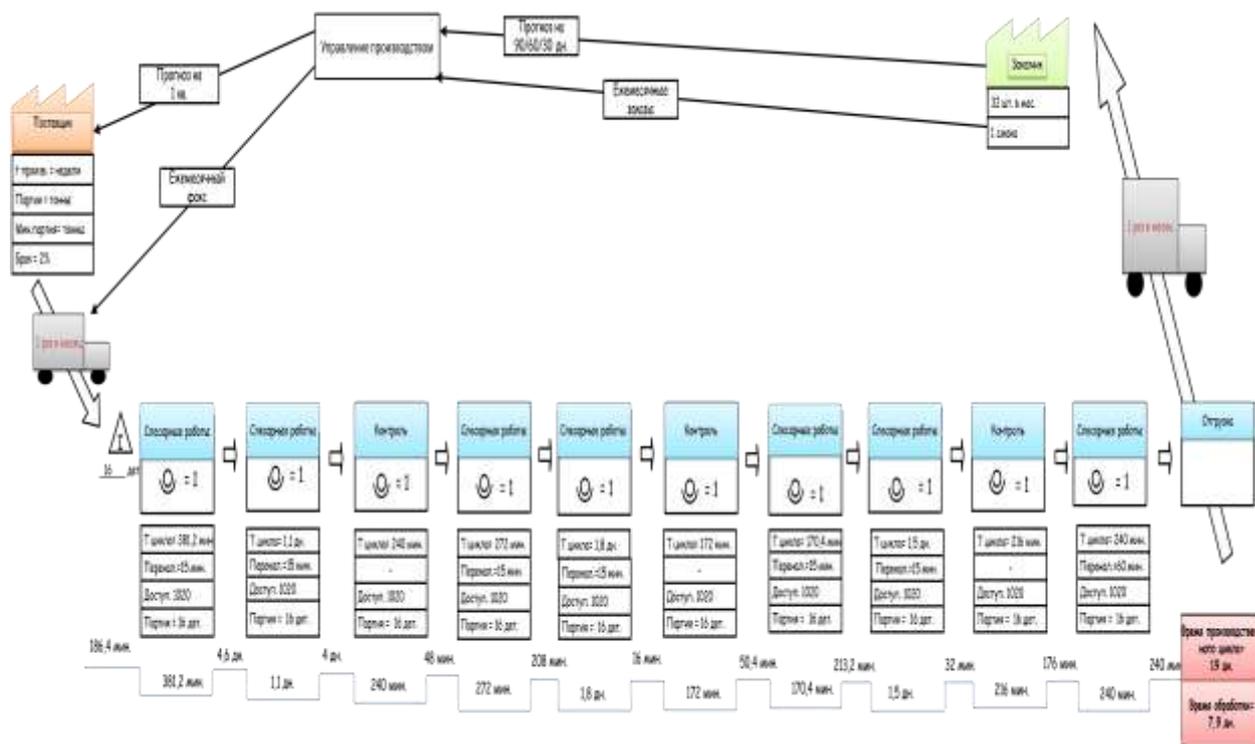


Рис. 3. Обобщенная карта потока создания ценности (будущее состояние)

Определим эффективность на примере устранения таких скрытых потерь, как лишние запасы и ожидание.

Потери из-за лишних запасов (P_{zan}):

$$P_{zan} = \sum_{r=1}^R K_{br} \cdot \Pi_{kr} \cdot C_r,$$

где:

r — вид запаса;

R — количество видов запасов, шт.;

$K_{вр}$ — кол-во дней хранения r -го вида запаса, дн.;

$P_{кр}$ — кол-во запасов r -го вида, шт.;

C_r — стоимость хранения r -го вида запаса, руб.

$$P_{зан} = 16 \times (4,6 + 4 + 3,4) \times 712,6 = 136819,2 \text{ руб.}$$

Потери из-за ожидания в результате простоя оборудования ($P_{ожид}$) определяются по формуле:

$$P_{6a} = \sum_{i=1}^{n_d} \sum_{w=1}^W P_{iw} \cdot T_{iw} \cdot C_{iw} ,$$

где:

n — кол-во видов изделий, которые не были произведены в результате простоя оборудования;

w — вид оборудования;

W — количество видов оборудования, шт.;

P_{iw} — производительность w -го оборудования, производящего i -ый вид изделия, шт./час.;

T_{iw} — время простоя w -го оборудования, производящего i -ый вид изделия, час.;

C_{iw} — затраты на производство i -го вида изделия на w -ом оборудовании, руб./шт.

Потери из-за ожидания зависят от следующих факторов: производительности оборудования (труда), времени ожидания и производственных издержек на единицу изделия. Под производительностью следует понимать эффективность использования ресурсов в материальном производстве, что определяется количеством продукции, произведенной в единицу времени.

$$P_{ожид} = 16,6 \text{ дн.} \times 8 \times (293,72 \times 2,5 + 105,06 \times 1,8 + 54,45 \times 3,5 + 1261,25 \times 0,99 + 37,58 \times 5,6 + 151 \times 1,4 + 52,68 \times 4) = 397761,03 \text{ руб.}$$

В результате удалось сократить денежные потери, связанные с большим количеством лишних запасов в размере 136819,20 рублей и простоем оборудования в размере 397761,03 рублей.

Таким образом, был проведен анализ технологического маршрута сборки демпферов, в результате чего выявлены источники потерь и предложены решения для их устранения согласно принципам «бережливого» менеджмента. Если последовать предлагаемому авторами решению, то удастся сократить длительность про-

изводства на 6 дней; увеличить значение добавочной стоимости на 8%, что в конечном итоге приведет к увеличению оборачиваемости оборотных средств и высвобождению активов предприятия.

Литература

1. Хаймович И. Н., Хаймович А. И. Рационализация организации производства машиностроительного предприятия на основе реинжиниринга // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С. П. Королева. 2006. № 3 (11). С. 53-57.

2. 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.

3. Хаймович И. Н., Скрипачев Д. Г., Колесникова С. Ю. Имитационное моделирование производственного цикла изготовления провода // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С. П. Королева. 2015. Т. 14. № 4. С. 151-155.

4. 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. 2012. № 3-3 (34). С. 131-136.

5. 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.

Статья поступила в редакцию 29.07.19 г.

*Рекомендуется к опубликованию членом Экспертного совета
канд. экон. наук М. М. Васильевым*