

УДК 621.9

СТРАТЕГИЯ ПЕРЕНАЛАДКИ ОБОРУДОВАНИЯ НА БАЗЕ СЛОЖНОЙ КОНВЕЙЕРНОЙ СИСТЕМЫ

Павленко В. Н., Руденко Н. В., Хлыпина М. В.

STRATEGY OF READJUSTMENT OF THE EQUIPMENT ON THE BASIS OF DIFFICULT CONVEYOR SYSTEM

Pavlenko V. N., Rudenko N. V., Khlypina M. V.

Успех деятельности предприятия, его конкурентоспособность в рыночных условиях, в значительной степени зависит от того, как решается вопрос управления затратами, имеющими место в процессе производства и реализации продукции. Особенно важно решение этого вопроса в случае многономенклатурного характера производства.

Ключевые слова: производственный процесс, имитационное моделирование, конвейерная система, задача о переналадке оборудования.

Введение. Управление предприятием представляет собой вид деятельности, который направлен на регулирование хода производственных процессов в соответствии с поставленной целью. Цель деятельности большинства предприятий, производящих и реализующих свою продукцию потребителям, максимизация получаемой прибыли и управление затратами является одним из путей ее достижения.

Производственный процесс – это некая последовательность действий по превращению сырья в готовые изделия. Производственные процессы разделяются на пять основных стадий: подготовка; обработка; контроль; транспортировка; хранение.

Подготовка включает в себя очистку, демонтаж и сборку. Обработка обеспечивает изменение формы или свойств материалов. Контроль подразумевает сравнение со стандартом. Транспортировка – это перемещение продукции. Соответственно, хранение – это период, в течение которого обработка, транспортировка или контроль продукции не происходят. Каждая стадия производственного процесса состоит из операций по переналадке, т.е. операций по подготовке или регулировке оборудования, которые выполняются до и после обработки каждой партии изделия.

Многие компании производят свою продукцию большими партиями только потому, что длительность процесса переналадки делает процесс замены продукции на линии очень дорогостоящим. Потери,

связанные с простоем оборудования, иногда исчисляются миллионами гривен. В то же время изготовление продукции крупными партиями также имеет несколько недостатков: задержки; потери, связанные с запасами продукции; ухудшение качества.

Заказчикам приходится дожидаться, пока предприятие изготовит всю партию продукта (изделия), хотя достаточно было бы произвести и меньшее количество. Последующее хранение нереализованной продукции порождает дополнительные затраты, требует привлечения других ресурсов предприятия и увеличивает вероятность того, что эту продукцию придется направить в переработку или даже на уничтожение в связи с порчей. Естественно, все это не добавляет ценности продукту (изделию).

Если процесс переналадки занимает очень мало времени, ее можно проводить так часто, как это требуется. Это в свою очередь означает, что если мы будем производить продукцию малыми партиями, то сможем получить много преимуществ: гибкость; быстрая поставка; производительность; высокое качество.

Предприятие может удовлетворить меняющиеся потребности заказчиков без издержек на хранение запасов продукции. Производство малыми партиями позволит сократить время, затрачиваемое на подготовку заказа к отправке, а также время ожидания заказчиком требуемой продукции. Соответственно, снижается вероятность порчи изделий, поскольку сокращается время их хранения. Уменьшается и объем производственного брака из-за меньшего числа ошибок в ходе наладки и пробных пусков оборудования.

Постановка проблемы. Особую актуальность в настоящее время имеет автоматизация производственных процессов, которая широко применяется на зарубежных предприятиях и в значительной степени позволяет снижать трудоемкость продукции. Кроме того, в ряде случаев установка более производительного оборудования ведет к сокращению его

количества и позволяет частично высвободить производственные площади. Техническое перевооружение должно касаться прежде всего тех цехов и участков производства, где снижение затрат будет иметь наибольшее значение. Причины необходимости техперевооружения малых предприятий механообрабатывающего профиля можно сгруппировать последующим направлениям:

- повышение технологической устойчивости производства;
- сокращение циклов изготовления деталей и сборочных единиц, ускорение оборачиваемости вложенных средств;
- сокращение сроков и стоимости подготовки производства;
- сокращение трудоемкости, снижение себестоимости продукции;
- сокращение брака и затрат на восстановление дефектной продукции;
- сокращение затрат на модернизацию и ремонт оборудования.

Анализ исследований и публикаций.

Независимо от типа используемого оборудования, все процедуры традиционной переналадки, состоят из четырех этапов [1]:

1. Подготовка, регулировка, проверка материалов и инструментов.
2. Монтаж и демонтаж съемных элементов.
3. Измерения, настройка и калибровка.
4. Пробные пуски и калибровка.

Основная причина, из-за которой традиционные операции переналадки занимают много времени, заключается в том, что операции внутренней и внешней наладки перемешаны между собой. Многие задачи, выполнить которые можно и при работающем оборудовании, выполняются только после его остановки [2].

В то же время система SMED призвана упростить и сократить действия при переналадке. Например, она позволяет сократить время операций на третьем этапе традиционной переналадки, предлагая производить все или большинство подготовительных операций при работающем оборудовании, а также обеспечить изготовление качественной продукции сразу же после запуска без пробных запусков и регулировки, другими словами полностью отказать от четвертого этапа традиционной переналадки [3].

В производственной системе возникает «классическая» задача о переналадке оборудования, решать которую методами математического программирования [1] было нецелесообразно из-за необходимости учета динамических свойств реального производственного процесса и влияющих на него «второстепенных» факторов.

Поиск «удачных» алгоритмов переналадки автоматических станций при различных последовательностях партий изделий проще всего осуществить путем составления соответствующих эмпирических правил, эффективность которых может

быть проверена путем прямого имитационного моделирования [4, 5].

Цель статьи. В работе проведено исследование логистических процессов при производстве технически сложной продукции, которое основано на внедрение логистических концепций при автоматизации многономенклатурного производства.

Результаты исследований. Объектом моделирования является производственная линия, на которой выполняются контроль и испытание коробок передач (в дальнейшем – изделий) для дизельных двигателей большой мощности. Основой конфигурации линии является замкнутая конвейерная система, с помощью которой осуществляется транспортировка изделий, установленных на специальных носителях. В форме эквивалентной замкнутой системы массового обслуживания линия показана на рис. 1.

Обработка изделия начинается с его установки на носитель на рабочей станции 1, далее оно перемещается еще через 10 рабочих станций, на последней из которых производится снятие изделия с носителя, что является завершением цикла его обработки. Носитель не покидает конвейерную систему, и после разгрузки на станции 11 он опять поступает на станцию 1, где на него устанавливается новое изделие. На станциях 1-4 и 7-11 операции выполняются рабочими, а на параллельно работающих станциях 5.1-5.8 и 6.1-6.7, где проводятся основные операции по испытанию изделий, режим работы является полностью автоматическим.

Основная сложность организации работы данной производственной линии связана с тем, что на ее вход поступают партии изделий различного типа. Этот факт непосредственным образом влияет на реальную производительность автоматических станций 5.1-5.8 и 6.1-6.7, так как возникает необходимость производить их переналадку, связанную с изменением типа обрабатываемых изделий. При повышении частоты выполнения операций по переналадке сокращается возможное полезное время работы станций и, как следствие, их реальная производительность (пропускная способность).

Поставленная задача о переналадке автоматических станций 5.1-5.8 и 6.1-6.7 имеет следующую формулировку: если на вход системы поступает новая партия изделий, то в какие моменты времени и для каких станций должна быть начата их переналадка?

Решение этой задачи должно быть подчинено стремлению достичь максимальной пропускной способности системы в целом. Поиск «удачных» алгоритмов переналадки автоматических станций при различных последовательностях партий изделий проще всего осуществить путем составления соответствующих эмпирических правил, эффективность которых может быть проверена путем прямого имитационного моделирования.

Предполагается, что на вход производственной линии могут поступать изделия четырех типов А, В,

С и D партиями 1 – 200 ед. Конкретные последовательности, соответствующие структуре производственной программы, кодируются в виде сколь угодно длинных цепочек вида «10A20B10A30C10A20D ... и т.д.». Если последовательность, содержащая, например, только по 50 изделий типа А и В, повторяется, то она может быть записана в виде «50A50B». Некоторые изделия после окончания соответствующей операции контроля или испытания объявляются бракованными. После получения такого статуса изделие не направляется к автоматическим станциям, а с помощью имеющихся в наличии транспортных путей направляется прямо к станции разгрузки 11. Вероятность выявления брака на каждой рабочей станции задается в составе исходных данных модели.

Имитационная модель производственной линии была разработана с использованием пакета имитационного моделирования Anylogic. В модели отображены все свойства и параметры реальной линии, которые были описаны выше. Предварительная настройка алгоритмов переналадки заключается в создании так называемых «масок», с помощью которых указывается, какие именно автоматические станции предназначаются для обработки изделий типов А, В, С и D. В результате каждая станция может быть настроена на обработку одного, двух, трех или всех четырех типов изделий. Совокупность данных, внесенных в «маски», определяет так называемые *правила доступности станций*. Второй группой правил являются *правила выбора станций*, которые реализуются в моменты, когда в точке X или Y (рис. 1) для очередного изделия должна быть определена станция, к которой оно будет направлено. Совокупность правил доступности и выбора станций называется *стратегией переналадки*. Термин «вариант 1» будет относиться в дальнейшем к использованию правил, при которых выбирается станция с максимальным числом занятых мест, а термин «вариант 2» – с минимальным числом занятых мест.

Основным показателем эффективности функционирования производственной линии является ее производительность (пропускная способность), измеряемая как среднее число изделий в час, снимаемых с носителей на станции 11. Именно этот показатель отображается на всех показанных ниже диаграммах, иллюстрирующих результаты имитацион-

ных экспериментов. Хотя вариант 2 почти во всех экспериментах демонстрирует лучшие результаты по сравнению с результатами, полученными при использовании варианта 1, последние также показаны на диаграммах с целью дополнительного подтверждения устойчивости модели и надежности результатов.

Эксперимент 1: варьирование числа носителей в системе. Для данного эксперимента была выбрана повторяющаяся последовательность партий изделий «2A2B», при которой вообще не было необходимости выполнять переналадку станков. Были проведены прогоны модели с числом носителей, постоянно циркулирующих в системе, которое изменялось в пределах 50...140. Результаты (рис. 2) указывают на недостаток варианта 1, при котором приемлемый уровень производительности достигается лишь при 85 носителях, так как при этом варианте проявляется тенденция к образованию максимально длинных очередей, вследствие чего большое число носителей «замораживаются» во входных буферах автоматических станций. При числе носителей в интервале 85...115 система демонстрирует устойчивый режим работы с максимально возможной производительностью (в случае варианта 2), равной 77,6 изделий в час.

Эксперимент 2: варьирование размера партий изделий. Только два типа изделий (А и В) поступают на вход системы в виде одинаковых по размеру партий, причем этот размер изменяется в пределах от 200 до 1. На рис. 3 показаны результаты моделирования, полученные при использовании стандартных вариантов 1 и 2, когда все автоматические станции были доступны для обработки изделий обоих типов и переналадка начиналась каждый раз, когда изделие нового типа появлялось на испытательной позиции. Можно видеть, что при размере партий < 30 эффективность данных стратегий резко падает, так как уже больше 25 % времени работы станций уходит на переналадку. При больших размерах партий экспериментальные попытки «освободить» какие-то станции от переналадки всегда приводили к уменьшению производительности линии. Для размера партий ≥ 30 на рис. 3 показаны значения производительности, которые не могут быть улучшены за счет изменения стратегии переналадки.

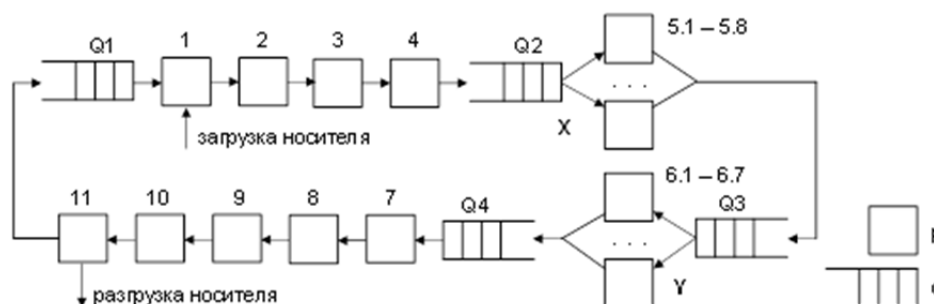


Рис. 1. Представление производственной линии в виде замкнутой системы массового обслуживания

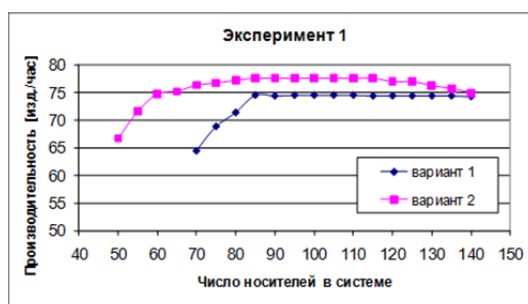


Рис. 2. Результаты эксперимента 1

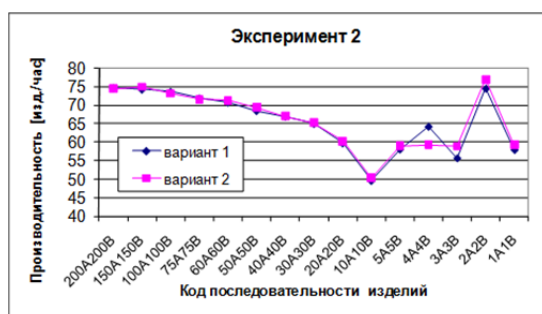


Рис. 3. Результаты эксперимента 2

Эксперимент 3: поиск оптимальных стратегий переналадки. Для последовательностей равновеликих партий типа «20A20B», «10A10B» и т.д. таким путём удалось найти простую схему закрепления типа изделий за конкретными станциями, которая в совокупности с вариантом 2, означающим выбор входных буферов с минимальным числом занятых мест, была названа «оптимальная стратегия» и которая обеспечивала максимально возможную производительность линии при почти полном отказе от операций по переналадке (рис. 4).

Эксперимент 4: ограничение числа рабочих-наладчиков. Все предыдущие эксперименты проводились при условии, что число рабочих-наладчиков было неограниченным.

На рис. 5 для случая обоих стандартных вариантов показан эффект снижения производительности системы, когда число доступных рабочих-наладчиков уменьшилось до двух человек.

При малых размерах партий, когда число операций по переналадке может быть относительно большим, такое снижение может составлять > 50%.

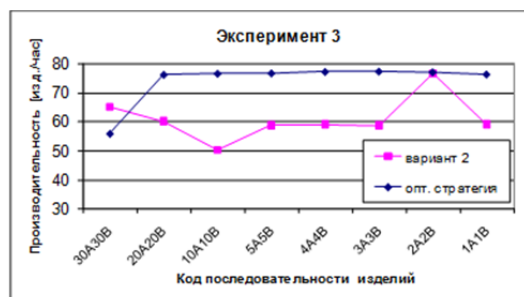


Рис. 4. Результаты эксперимента 3

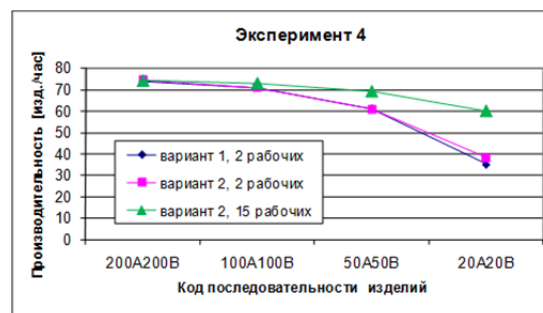


Рис. 5. Результаты эксперимента 4

Выводы. Успех деятельности предприятия, его конкурентоспособность в рыночных условиях, в значительной степени зависит от того, как решается вопрос управления затратами, имеющими место в процессе производства и реализации продукции. Особенно важно решение этого вопроса в случае многономенклатурного характера производства. Предлагаемое сокращение потерь за счет быстрой переналадки оборудования позволяет сократить размер оптимальной партии, как следствие – оперативно управлять запасами и в итоге сократить время исполнения заказа. Кроме того, чем меньше партия, тем проще выявлять отклонения по качеству и количеству. Таким образом, логистика становится фактором формирования ключевой компетенции и источником основных конкурентных преимуществ предприятий.

Л и т е р а т у р а

1. Быстрая переналадка для рабочих. Группа разработчиков издательства Productivity Press. М. Издательство ИКСИ, 2009, ISBN 978-5-903148-28-8
2. Детярев Ю.И. Исследование операций: учебник для вузов по специальности АСУ. М.: Высшая школа, 1986.
3. Сигео Синго. Изучение производственной системы Тойоты с точки зрения организации производства. - М: ИКСИ, 2006. ISBN 5-903148-03-4
4. Толуев Ю.И. Имитационное моделирование логистических сетей // Логистика и управление цепями поставок. 2008. 2/25. С. 53-63.
5. Толуев Ю.И., Иванов Д.А. Инженерные традиции в имитационном моделировании производственных и логистических систем // Имитационное моделирование. Теория и практика: Сб. трудов V всероссийской научно-практической конференции. СПб.: ФГУП ЦНИИ ТС, 2011, с. 75-82.

R e f e r e n c e s

1. Bystraja perenaladka dlja rabochih. Gruppya razrabotchikov izdatel'stva Productivity Press. M. Izdatel'stvo IKSII, 2009, ISBN 978-5-903148-28-8
2. Degtjarev Ju.I. Issledovanie operacij: uchebnik dlja vuzov po special'nosti ASU. M.: Vysshaja shkola, 1986.
3. Sigeo Singo. Izuchenie proizvodstvennoj sistemy Tojoty s točki zre-nija organizacii proizvodstva. - M: IKSII, 2006. ISBN 5-903148-03-4.
4. Toluev Ju.I. Imitacionnoe modelirovanie logisticheskikh setej // Lo-gistika i upravlenie cepjami postavok. 2008. 2/25. S. 53-63.
5. Toluev Ju.I., Ivanov D.A. Inzhenernye tradicii v imitacionnom mode-lirovanii proizvodstvennyh i logistich-

eskih sistem // Imitacionnoe modelirovanie. Teorija i praktika: Sb. trudov V vsrossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. SPb.: FGUP CNII TS, 2011, s. 75-82.

Павленко В.М, Руденко Н.В., Хлипіна М.В. Стратегія переналагодження обладнання на базі складної конвеєрної системи

Успіх діяльності підприємства, його конкурентоспроможність в ринкових умовах, в значній мірі залежить від того, як вирішується питання управління витратами, що мають місце в процесі виробництва і реалізації продукції. Особливо важливо рішення цього питання в разі багатомононклатурного характеру виробництва.

Ключові слова: виробничий процес, імітаційне моделювання, конвеєрна система, завдання про переналагодження обладнання.

Pavlenko V.N., Rudenko N.V., Khlypina M.V. Strategy of readjustment of the equipment on the basis of difficult conveyor system

The success of activity of the enterprise, its competitiveness in market conditions, substantially depends on how the issue of management of the expenses taking place in process of production and product sales is resolved. The solution of

this question in case of multi-nomenclature nature of production is especially important.

Key words: production process, imitating modeling, conveyor system, a task about readjustment of the equipment.

Павленко В.Н. – д.т.н., професор, професор кафедри теоретичної механіки, машинознавства та роботомеханічних систем, Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «ХАІ», м. Харків, Україна, e-mail: pavlenko_vitaliy@mail.ru.

Руденко Н.В. – к.т.н., доцент, доцент кафедри теоретичної механіки, машинознавства та роботомеханічних систем, Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «ХАІ», м. Харків, Україна, e-mail: RudenkoNV@yandex.ru.

Хлипіна М.В. – магістрант, Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «ХАІ», м. Харків, Україна, e-mail: margaret7279@yandex.ua

Рецензент: **Соколов В.И.**, д.т.н., професор

Стаття подана 26.01.2015