

УДК 338.32:658.5

ПРОБЛЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ «ТОЧНО В СРОК» И КОНЦЕПЦИЯ «БЫСТРО РЕАГИРУЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА»

© 2014 В.В. Клочков¹, В.А. Вдовенков²

¹ Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва

² Московский авиационный институт

Поступила в редакцию 05.09.2014

Проведен анализ эффективности применения концепции быстро реагирующего производства (QRM, Quick Response Manufacturing) на предприятиях авиационной промышленности. Для получения количественных оценок предложена экономико-математическая модель авиастроительного производства с учетом временных, логистических факторов и нерегулярности спроса на продукцию.

Ключевые слова: *временная конкуренция, «точно вовремя», быстро реагирующее производство, логистические затраты, упущенная выгода, производственные мощности, экономико-математическая модель, теория очередей*

В настоящее время прогрессивные принципы организации производства, в т.ч. концепция «Just-in-Time», «точно в срок», признаны важным фактором обеспечения конкурентоспособности и эффективности авиастроительных предприятий. Одним из перспективных направлений дальнейшего развития производственного менеджмента в отрасли может быть внедрение и совершенствование концепции QRM (Quick Response Manufacturing), т.е. «быстро реагирующее производство», подробнее см. [8]. Изначально в основе этой концепции лежала идея радикального сокращения длительности исполнения заказов. Сокращение времени выполнения заказов позволяет выигрывать во временной конкуренции, обостряющейся в наукоемкой и высокотехнологичной промышленности, в т.ч. авиационной, особенно в условиях индивидуализации спроса (эти аспекты количественно были исследованы с участием авторов, см. [1]). Особо подчеркнем важность временных факторов в сетевой структуре отрасли, где заказ на покупные комплектующие изделия (ПКИ), узлы и агрегаты, а также на производственные услуги и работы может быть выдан тем или иным специализированным предприятиям. Как правило, сообщения сокращения затрат (при традиционной их калькуляции, слабо отражающей временные факторы) диктуют обеспечение, по возможности, близкой к 100% загрузки оборудования. Однако это, особенно в условиях стохастического

спроса на продукцию, приводит к образованию очередей на выполнение заказов, к высокой длительности ожидания для заказчиков и клиентов. Концепция же QRM предписывает, наоборот, оставлять значительные резервные мощности (типовые рекомендации, основанные на опыте внедрения на ряде предприятий в различных отраслях – 15-25%), что позволит минимизировать очереди и время удовлетворения потребностей заказчиков. Сокращение длительности исполнения заказов является необходимым условием реализации концепции «Just-in-Time». Фактически, концепция QRM является реализацией принципов «Just-in-Time» не в области логистики, а непосредственно в производственной сфере.

Опыт внедрения концепции QRM показал [8], что, как ни парадоксально, многие решения, нацеленные исключительно на сокращение времени выполнения заказов, попутно приводили и к сокращению затрат, при том, что обратное неверно. Как правило, традиционные решения, нацеленные на снижение себестоимости производства, например, обеспечение близкой к 100%-й загрузки оборудования, удлиняют период исполнения заказов по целому ряду причин. Помимо роста удовлетворенности потребителей и, как следствие – роста спроса на продукцию предприятия и его выручки в условиях жесткой временной конкуренции, сокращение сроков исполнения заказов может, особенно в авиационной промышленности, привести попутно и к снижению полной себестоимости производства. Причина состоит в том, что в структуре себестоимости продукции авиационной промышленности (особенно в ее современном, сетевом вари-

Клочков Владислав Валерьевич, доктор экономических наук, ведущий научный сотрудник. E-mail: vlad_klochkov@mail.ru

Вдовенков Владимир Анатольевич, аспирант

анте, когда каждое последующее звено технологической цепочки закупает продукцию предыдущих звеньев в качестве ПКИ) велика доля материальных затрат на закупку компонент, комплекующих изделий, узлов, агрегатов и деталей. Но при их высокой стоимости и большой длительности производственного цикла уже необходимо учитывать логистические аспекты. Длительное хранение дорогостоящих компонент (необязательно имеется в виду буквально хранение на складах, возможно, и пребывание продукции, незавершенной производством, в производственном цикле) порождает высокие финансовые потери. Возможности их снижения появляются при сокращении длительности исполнения заказов в рамках концепции QRM.

Сокращение длительности производственного цикла требует внедрения более производительных технологий и оборудования, а сокращение времени ожидания исполнения заказа (ожидания в очереди) – наличия избыточных производственных мощностей, что повлечет за собой повышение стоимости их приобретения и содержания – амортизационных отчислений, арендной платы и т.п., а также соответствующих налоговых платежей. Впрочем, влияние внедрения принципов QRM на эффективность использования основных фондов и соответствующие постоянные затраты неоднозначно. В работах основоположников концепции QRM и специалистов-практиков, впервые внедривших ее на предприятиях [8, 9], подчеркивается, что и с точки зрения эффективности использования основных производственных фондов сокращение длительности исполнения заказов может быть благотворным. В условиях дифференцированного и нерегулярного спроса поступающие на предприятие заказы могут обрабатываться долго не столько по причине большой длительности собственно производственных процессов, сколько по причине высокой длительности транзакций. В терминах, используемых авторами концепции QRM, велико не столько «серое», «цеховое» время, сколько «белое», «офисное» – приводятся примеры, когда в отдельных отраслях машиностроения США оно занимало до 90% всей длительности выполнения заказа [10]. Сокращению этого непроизводительного «офисного» времени посвящены многие разработки в рамках концепции QRM.

Прежде всего, предлагается переход от традиционной для стабильного поточного производства иерархической функциональной структуры системы управления производством к самостоятельным «ячейкам», включающим в себя специалистов различных профилей и компетенций, и уполномоченным принимать самостоятельные решения – производственные, финансовые и маркетинговые. В принципе, такой подход

широко известен в теории и практике организации производства, и считается наиболее предпочтительным в нестабильной среде [4]. В отечественной авиационной промышленности на протяжении десятилетий успешной работы еще в советский период был накоплен опыт формирования и функционирования т.н. комплексных бригад (именно с целью ускорения принятия решений в быстроменяющейся и сложной обстановке при освоении производства новой продукции, новых технологий, в условиях мобилизационной экономики и т.п.). Все это, с точки зрения использования производственного оборудования, сокращает его непроизводительные простои и повышает эффективность работы предприятия. Поскольку возрастает выпуск предприятия при неизменном уровне производственных мощностей и численности вспомогательного, административно-управленческого персонала, снижаются разнообразные постоянные (накладные, общецеховые) расходы, приходящиеся на единицу продукции. Именно такие факторы приводят к снижению затрат наряду со снижением длительности выполнения заказов при внедрении принципов QRM.

Таким образом, как показывает проведенный здесь качественный анализ, ничего парадоксального в наблюдаемом снижении издержек при ускорении выполнения заказов нет – требуется лишь более комплексный, системный учет этих затрат и потерь, учитывающий логистические и временные аспекты. Дополнительные доходы от выигрыша во временной конкуренции, возможное сокращение оборотных фондов и стоимости их содержания следует соотносить с затратами на создание и содержание избыточных производственных мощностей, а также более дорогостоящего и производительного оборудования¹.

Вероятно, далеко не во всех подотраслях авиационной промышленности и не во всех видах производств внедрение концепции QRM будет эффективным. Принятие обоснованных решений в этой сфере возможно только на базе расчетов, количественных оценок. Таким образом, для принятия экономически обоснованных решений о выборе технологии производства и типов производственного оборудования; мощности производства и численности парка производственного оборудования и в целом для принятия решения о внедрении принципов QRM в том или ином виде производства в авиационной промышленности, необходимо прибегнуть к экономико-математическому моделированию. В

¹ Впрочем, эффективность его использования может, как объяснено выше, и возрасти, благодаря организационным изменениям, стимулом к которым явилось внедрение принципов QRM.

работе предложен метод выбора оптимальной технологии (из нескольких вариантов, характеризующихся обобщенными технологическими коэффициентами) и уровня производственных мощностей (в т.ч. резервных мощностей) предприятий авиационной промышленности с учетом различных составляющих затрат, а также доходов предприятия и упущенной выгоды. Этот метод позволяет обоснованно планировать развитие производственного потенциала предприятий, формировать требования к перспективным технологиям и производственному оборудованию, а также выявлять области предпочтительного применения концепции QRM на предприятиях авиационной промышленности.

Экономико-математическая модель авиастроительного предприятия с учетом временных, логистических аспектов и нестабильного спроса на продукцию. Экономический анализ целесообразности и возможных последствий внедрения концепции QRM в авиационной промышленности может быть проведен с помощью экономико-математических моделей, учитывающих

- потери из-за несвоевременного исполнения заказов,
- логистические потери из-за высокой длительности производственного цикла и содержания производственных запасов,
- потери из-за избыточности производственных мощностей.

Такие модели могут быть построены на основе теории массового обслуживания (теории очередей, подробнее см., например, [2, 3]). Рассмотрим производственный объект (цех, участок) как систему массового обслуживания (СМО), располагающую n однотипными каналами. В качестве таковых могут рассматриваться отдельные станки, технологические установки или обрабатывающие центры. Если их несколько, они работают параллельно, обрабатывая поступающие заказы (задания на обработку, и т.п.). Каналы обладают определенной производительностью μ , заявок/ед. врем. Будем рассматривать элементарные каналы обслуживания, каждый из которых одновременно может обслуживать лишь одну заявку, т.е. пребывание на данном узле обслуживания нескольких заявок на разных стадиях обработки (что возможно, например, на линии конвейера, здесь для простоты не рассматривается). Иначе говоря, каждый канал выполняет одну операцию или некоторую неделимую последовательность операций. Тогда

$$\mu = \frac{1}{t_{\text{заказ}}}, \text{ где } t_{\text{заказ}} - \text{средняя длительность выполнения заказа одним каналом (она же, что}$$

важно для дальнейших рассуждений, представляет собой и среднюю длительность пребывания

заказа в обработке). Входящий поток заявок имеет интенсивность λ , заявок/ед. врем.

В данной СМО в общем случае допускается очередь. Она может быть ограниченной по времени ожидания (в простейших моделях массового обслуживания это учитывается как случайный поток «нетерпеливых» заявок, уходящих

из очереди с интенсивностью $\nu = \frac{1}{t_{\text{доп}}}$, где $t_{\text{доп}}$ –

допустимое время ожидания в очереди, по окончании которого заявка уходит из очереди). Таким образом, можно упрощенно моделировать временную конкуренцию¹, являющуюся одной из главных движущих сил внедрения концепции QRM. В предельном случае, если конкуренция является очень жесткой, и мощности конкурентов избыточны, можно рассматривать производственную систему как СМО с отказом в обслуживании, т.е. заявки, заставшие все каналы занятыми, не становятся в очередь, а сразу покидают систему. Промежуточные случаи можно моделировать, изменяя среднюю длительность ожидания «нетерпеливых» заявок, прежде чем они покинут очередь. Чем жестче конкуренция, тем ниже эта длительность ожидания. Отказ в обслуживании, уход «нетерпеливых» заявок из очереди – все это сокращает поток обслуженных заявок и, в конечном счете, доход предприятия. Кроме того, можно непосредственно ввести в модель штраф за ожидание, либо ввести сокращение потока входящих заявок при увеличении ожидаемого времени ожидания и обработки заявки.

Важнейшими выходными характеристиками данной СМО являются в целях данной работы:

- абсолютная пропускная способность, т.е. интенсивность потока обслуженных (а не ушедших из очереди или получивших отказ) заявок, Q – фактически, выпуск производственной системы, определяющий доход (выручку) производства $R = p \cdot Q$, где p – цена выходной продукции;
- среднее время пребывания заявки в системе (т.е. в очереди, а также непосредственно в производственном цикле) $\bar{T}_{\text{сист}} = \bar{T}_{\text{ож}} + t_{\text{заказ}}$.

Эти величины можно оценить, пользуясь широко известными моделями СМО [2, 3]. По стандартной классификации систем массового обслуживания, здесь рассматривается многоканальная СМО с очередью, ограниченной по времени ожидания. Простые и поддающиеся

¹ Здесь рассматривается ситуация, близкая к совершенной конкуренции в том смысле, что допустимая длительность ожидания и т.п. факторы, определяющие необходимость скорейшего выполнения заказов, не зависят от поведения данного предприятия, от его стратегии, от выбора технологии и уровня мощностей.

аналитическому исследованию модели СМО строятся в предположении, что все потоки событий являются простейшими, т.е. пуассоновскими. Пуассоновский поток событий является в некотором смысле «наиболее случайным», он обладает свойством отсутствия последствия (т.е. время поступления очередной заявки непосредственно не зависит от момента поступления

$$\Pi = R - TC - D = p \cdot Q - C_{\text{произв}}(Q) - c_{\text{канал}} \cdot n - C_{\text{оборотн}} - D,$$

где $C_{\text{произв}}(Q)$ - прямые производственные затраты (включающие в себя трудовые и материальные затраты) при выпуске, равном Q ; $c_{\text{канал}}$ - годовые постоянные затраты в расчете на 1 канал обслуживания; D - штрафы и неустойки за недостаточную оперативность при выполнении заказов, в т.ч. за ожидание заказчиков в очереди; $C_{\text{оборотн}}$ - затраты на поддержание оборотных фондов предприятия.

Для построения расчетной модели и проведения количественного анализа конкретизируем общий вид модели, предложенный выше. Для упрощения не будем учитывать непосредственные штрафы за отказ в обслуживании. Предположим, что такие штрафы и неустойки не предусмотрены контрактами, и действуют лишь естественные рыночные механизмы «наказания» за неспособность оперативно удовлетворить запросы потребителей в виде снижения интенсивности потока обслуженных заявок Q относительно входящего потока λ (т.е. упущенной выгоды). В то же время штрафы за ожидание исполнения производственных заказов в очереди в реальности встречаются в промышленности, в т.ч. в распределенных сетевых отраслевых структурах (контракты между поставщиками и заказчиками могут предусматривать такие неустойки). Обозначив ставку такого штрафа $c_{\text{оч}}$ (в расчете на 1 заявку в единицу времени), получим:

$$D = c_{\text{оч}} \cdot \bar{T}_{\text{ож}} \cdot \lambda.$$

В приведенном виде формула суммы штрафов подразумевает, что неустойка за ожидание в очереди уплачивается как тем заказчикам, чьи заказы, в конце концов, будут исполнены, так и тем, кто покинул очередь, поскольку среднее время пребывания в ней $\bar{T}_{\text{ож}}$ в простейших моделях СМО оценивается без разделения заявок на обслуженные и ушедшие из очереди. С экономической точки зрения такое допущение можно признать реалистичным, если с любым заказчиком заключается предварительный контракт, предусматривающий выплату производителем

предыдущей). Такое допущение о законах распределения потоков событий является пессимистическим с точки зрения планирования работы СМО и качества обслуживания, что следует учитывать при интерпретации результатов расчетов.

Сопоставляя доходы, а также суммарные затраты и потери данного производства, получим выражение для его ожидаемой прибыли:

неустойки и при уходе заказчика вследствие срыва сроков.

Если считать, что прямые производственные затраты линейно зависят от выпуска, и обозначить $c_{\text{труд}}$ и $c_{\text{мат}}$, соответственно, удельные трудовые и материальные затраты в расчете на единицу продукции, тогда

$$C_{\text{произв}}(Q) = C_{\text{труд}}(Q) + C_{\text{мат}}(Q) = (c_{\text{труд}} + c_{\text{мат}}) \cdot Q$$

Затраты на поддержание оборотных фондов оценим следующим образом:

$$C_{\text{оборотн}} = \bar{T}_{\text{сисг}} \cdot Q \cdot h^1,$$

где h - потери из-за пребывания 1 ед. продукции в течение года в производственном цикле, включающие в себя как непосредственно издержки хранения, так и финансовые потери из-за омертвления капитала. В силу относительной дороговизны ПКИ в авиационной промышленности, именно последний фактор преобладает, и в качестве нижней оценки величины r можно принять именно финансовые потери. Их можно оценить следующим образом (если оценивать продукцию, незавершенную производством, по стоимости закупки сырья и ПКИ):

$$h = c_{\text{мат}} \cdot i,$$

где i - ставка процента.

Таким образом, выражение для прибыли можно представить в следующем виде:

¹ Здесь предполагается, что необходимые сырье, полуфабрикаты и ПКИ приобретаются в тот момент, когда предприятие приняло заказ, и хранятся (например, на складах) на протяжении всего времени ожидания данным заказом своей очереди. С одной стороны, было бы рационально производить закупку необходимых материалов и ПКИ непосредственно перед тем, как заказ будет передан в производство. С другой стороны, в реальности момент высвобождения каналов обслуживания может быть труднопредсказуемым (как и время доставки заказанных сырья и ПКИ), а планирование поставок – далеким от оптимального. Поэтому такая оценка затрат на поддержание оборотных фондов является оптимистической, и в реальности они могут быть выше (особенно с учетом страховых запасов, и т.п.).

$$\begin{aligned} \Pi &= (p - c_{\text{труд}} - c_{\text{мат}}) \cdot Q - c_{\text{канал}} \cdot n - \bar{T}_{\text{сист}} \cdot Q \cdot c_{\text{мат}} \cdot i - c_{\text{оч}} \cdot \bar{T}_{\text{ож}} \cdot \lambda = \\ &= [p - c_{\text{труд}} - c_{\text{мат}} \cdot (1 + \bar{T}_{\text{сист}} \cdot i)] \cdot Q - c_{\text{канал}} \cdot n - c_{\text{оч}} \cdot \bar{T}_{\text{ож}} \cdot \lambda = \\ &= [1 - l - a \cdot (1 + \bar{T}_{\text{сист}} \cdot i)] \cdot R - c_{\text{канал}} \cdot n - c_{\text{оч}} \cdot \bar{T}_{\text{ож}} \cdot \lambda, \end{aligned}$$

где $l = \frac{c_{\text{труд}}}{p} = \frac{C_{\text{труд}}}{R}$; $a = \frac{c_{\text{мат}}}{p} = \frac{C_{\text{мат}}}{R}$ - коэффициенты, соответственно, трудовых и материальных затрат, т.е. стоимостные материалоемкость и

трудоемкость производства, характеризующие технологию.

Оптимизационная задача выбора мощности производства, т.е. числа каналов, а также технологии производства, типов оборудования и т.п. – выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} \Pi &= [1 - l^k - a^k \cdot (1 + \{ \bar{T}_{\text{ож}}(n, t_{\text{заказ}}^k) + t_{\text{заказ}}^k \} \cdot i)] \cdot p \cdot Q(n, t_{\text{заказ}}^k) - \\ &\quad - c_{\text{канал}}^k \cdot n - c_{\text{оч}} \cdot \bar{T}_{\text{ож}}(n, t_{\text{заказ}}^k) \cdot \lambda \rightarrow \max_{n, k}, \end{aligned}$$

где k - индекс технологии (и, соответственно, типов оборудования, и т.п.).

Зависимости $Q(n, t_{\text{заказ}}^k)$ и $\bar{T}_{\text{ож}}(n, t_{\text{заказ}}^k)$ оцениваются с помощью моделей СМО [2, 3] и обладают следующими качественными особенностями:

$$\frac{\partial Q}{\partial n} > 0; \quad \frac{\partial^2 Q}{\partial n^2} < 0; \quad \frac{\partial Q}{\partial t_{\text{заказ}}} < 0; \quad \frac{\partial \bar{T}_{\text{ож}}}{\partial n} < 0; \quad \frac{\partial \bar{T}_{\text{ож}}}{\partial t_{\text{заказ}}} > 0.$$

Качественный анализ условий эффективного внедрения принципов «быстро реагирующего производства» на предприятиях авиационной промышленности. Располагая обобщенными технологическими коэффициентами, можно оценить стоимостные параметры, входящие в модель, в т.ч. стоимость содержания канала $c_{\text{канал}}$ и ставку штрафа за ожидание исполнения заказа $c_{\text{оч}}$. Как показывает статистика относительно успешно работающей авиационной промышленности США [5-7], при высокой загрузке производственных мощностей затраты на их поддержание и развитие составляют¹, в среднем, не более 4-5% выручки предприятий. На основании той же статистики производственно-экономических показателей предприятий и подотраслей авиационной промышленности можно оценить отношение затрат на содержание основных фондов к выручке предприятия (принимая за эти затраты капитальные вложения, либо, амортизационные отчисления – в последнем случае это будет стоимостная амортизационность):

$$f = \frac{FC_{\text{ОПФ}}}{R}.$$

В то же время, если это отношение получено для стабильно работающего практически с

полной загрузкой производства (без учета эффектов, характерных для систем массового обслуживания, работающих в нестабильной среде), тогда можно считать, что его натуральный выпуск равен

$$Q = n \cdot \mu = \frac{n}{t_{\text{заказ}}}.$$

Соответственно, выручка предприятия или подотрасли в период статистического наблюдения составляла

$$R = p \cdot Q = p \cdot \frac{n}{t_{\text{заказ}}},$$

тогда как постоянные затраты на содержание основных фондов были равны

$$FC_{\text{ОПФ}} = n \cdot c_{\text{канал}}.$$

Таким образом, отношение затрат на содержание основных фондов к выручке предприятия (равное стоимостной амортизационности) можно представить как

$$f = \frac{FC_{\text{ОПФ}}}{R} = \frac{n \cdot c_{\text{канал}}}{p \cdot \frac{n}{t_{\text{заказ}}}} = \frac{c_{\text{канал}}}{p} \cdot t_{\text{заказ}},$$

и искомая величина $c_{\text{канал}}$ может быть выражена через цену единицы продукции, подобно материальным и трудовым издержкам:

¹ При любом подходе к их оценке – по сумме амортизационных отчислений, или по текущему объему капитальных вложений.

$$c_{\text{канал}} = \frac{f}{t_{\text{заказ}}} \cdot p.$$

Что касается штрафа за ожидание, в первом приближении можно считать, что его ставка

$$\begin{aligned} \Pi &= \left[1 - l - a \cdot (1 + \bar{T}_{\text{сист}} \cdot i) \right] \cdot p \cdot Q - \frac{f}{t_{\text{заказ}}} \cdot p \cdot n - i \cdot p \cdot \bar{T}_{\text{ож}} \cdot \lambda = \\ &= p \cdot \left\{ \left[1 - l - a \cdot (1 + \{ \bar{T}_{\text{ож}} + t_{\text{заказ}} \} \cdot i) - i \cdot \bar{T}_{\text{ож}} \cdot \frac{\lambda}{Q} \right] \cdot Q - \frac{f}{t_{\text{заказ}}} \cdot n \right\}. \end{aligned}$$

Отношение $\frac{Q}{\lambda}$, т.е. доля удовлетворенных заказов во входящем потоке, в теории массового обслуживания называется относительной пропускной способностью СМО (обозначим ее для краткости α). Она по определению меньше 1, и возрастает при увеличении числа каналов, а также при сокращении отношения $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$, называемого относительной загрузкой каналов. Также из теории массового обслуживания известно, что поток обслуженных заявок можно представить как

$$Q = \mu \cdot \bar{n} = \frac{\bar{n}}{t_{\text{заказ}}},$$

где \bar{n} - среднее число загруженных каналов. Тогда можно, преобразуя формулу для прибыли, получить следующее выражение:

$$\Pi = p \cdot Q \cdot \left[1 - l - a \cdot (1 + \{ \bar{T}_{\text{ож}} + t_{\text{заказ}} \} \cdot i) - i \cdot \frac{\bar{T}_{\text{ож}}}{\alpha} - f \cdot \frac{n}{\bar{n}} \right].$$

Для иллюстрации расчетов по предложенной здесь модели примем следующий набор исходных данных: цена продукции $p = 100$ ден. ед.; коэффициент материальных затрат $a = 50\%$ ¹; коэффициент трудовых затрат $l = 25\%$; ставка процента $i = 15\%$ годовых; стоимостная амортизационность производства $f = 7\%$; средняя длительность исполнения одного заказа одним каналом обслуживания $t_{\text{заказ}} = 90$ суток; средний интервал между заказами $\tau_{\text{заказ}} = 30$ суток; допустимое время ожидания заказа в очереди $t_{\text{доп}} = 30$ суток.

Принятые в этом примере значения технологических коэффициентов вполне соответствуют большинству подотраслей авиационной промышленности [5-7], хотя, разумеется, в

имеет тот же порядок, что и ставка процента. Подставляя полученные выражения в формулу для прибыли предприятия, получим:

отдельных видах производств они могут и существенно отличаться. Прежде всего, наглядно представим зависимость прибыли от количества каналов обслуживания. На рис. 1 сплошной линией изображен соответствующий график, полученный при перечисленных выше исходных данных. Из него видно, что максимум прибыли достигается при $n_{\text{opt}} = 4$ каналах, тогда как, на первый взгляд (если не учитывать стохастический характер процесса работы СМО), для выполнения входящего потока заказов было бы

$$\text{достаточно ровно } n_{\text{min}} = \left[\frac{t_{\text{заказ}}}{\tau_{\text{заказ}}} \right] = \left[\frac{90 \text{ суток}}{30 \text{ суток}} \right] = 3$$

каналов². Относительная избыточность производственных мощностей составляет, таким образом,

$$k_{\text{изб}} = \left(\frac{n_{\text{opt}}}{n_{\text{min}}} - 1 \right) \cdot 100\% = \left(\frac{4}{3} - 1 \right) \cdot 100\% \approx 33\%.$$

Но при попытке «оптимизировать» уровень мощностей для повышения их загрузки прибыль в данном примере сократится почти на 9% относительно максимально возможного значения.

В рамках примера, для которого построен график на рис. 1, рассмотрим следующее изменение. Пусть единичная мощность оборудования возросла, и в результате ожидаемое время исполнения 1 заказа одним каналом сократилось до $t'_{\text{заказ}} = 30$ суток, т.е. втрое. Если при этом оставить неизменной долю затрат на поддержание основных фондов в выручке, это будет означать утроение стоимости содержания канала – а в этом случае, как известно из теории массового обслуживания, выгоднее будет не интенсивный путь развития СМО, который здесь рассматривается, а экстенсивный, т.е. несколько каналов с меньшей пропускной способностью.

¹ Коэффициент материальных затрат имеет в различных подотраслях авиационной промышленности порядок 35-60%, см. [5-7].

² Здесь квадратные скобки обозначают округление вверх до ближайшего целого числа.

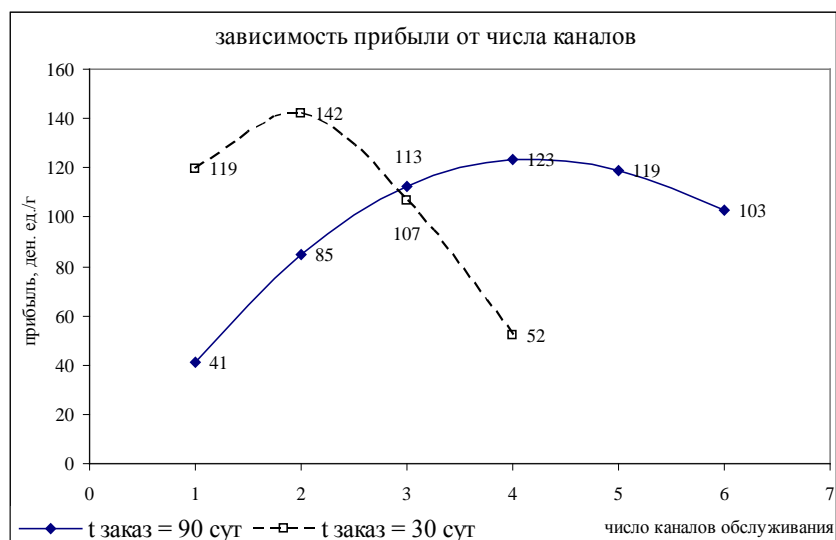


Рис. 1. Зависимость прибыли от количества каналов обслуживания (пример)

Пусть стоимостная амортизационность производства сократилась до $f' = 5\%$ (т.е. стоимость содержания канала обслуживания возросла, но не втрое, а в $15/7$ раз, т.е. чуть более, чем вдвое). На том же рис. 1 штриховой линией изображен график зависимости прибыли от количества каналов обслуживания для более производительного, хотя и более дорогостоящего оборудования. Из последнего графика видно, что оптимальным является удвоенный уровень мощностей - $n_{opt} = 2$, тогда как

$$n_{min} = \left[\frac{t_{заказ}}{\tau_{заказ}} \right] = \left[\frac{30 \text{ суток}}{30 \text{ суток}} \right] = 1.$$

Таким образом, коэффициент избыточности мощностей будет равным 100%. При этом спад кривой прибыли при дальнейшем наращивании избыточных мощностей будет гораздо более крутым, чем в исходном варианте, т.е. наращивание избыточности высокопроизводительного дорогостоящего оборудования крайне нежелательно. В то же время и «оптимизация» мощностей до $n_{min} = 1$ приведет к сокращению прибыли, по сравнению с максимальной, почти на 16%.

Таким образом, экономически оправданная избыточность уровня производственных мощностей предприятий авиационной промышленности при внедрении концепции QRM может в зависимости от конкретного производства составлять десятки процентов. Причем здесь невозможно выработать универсальные рекомендации, а конкретные рекомендации зависят от вида производства и могут быть обоснованы при помощи предложенной экономико-математической модели.

Также можно оценить с точки зрения теории очередей целесообразность внедрения универсального, гибкого оборудования в рамках концепции QRM. Как известно, специализация каналов при прочих равных, т.е. при равном

времени обслуживания заявки, ухудшает качество обслуживания по сравнению с универсальными каналами. Средняя длина очереди, среднее время ожидания и т.п. показатели качества обслуживания выше (т.е. хуже) для СМО со специализированными каналами. В то же время специализированные каналы могут обеспечить меньшее время обслуживания, чем универсальные – этим и обусловлена, в основном, целесообразность специализации. Кроме того, повышение универсальности требует и дополнительных затрат и, наоборот, специализированное оборудование при прочих равных дешевле. С помощью модели предприятия как многоканальной СМО, обслуживающей смешанный поток заявок (т.е. неоднородный, содержащий заявки разного типа), можно оценить эффективность внедрения универсального оборудования, повышения его гибкости, при заданных приростах стоимости и длительности обработки заказов.

Выводы:

1. Анализ факторов, влияющих на эффективность внедрения принципов «быстро реагирующего производства» (QRM) при модернизации материально-технической базы авиационных предприятий, позволяет сделать следующие выводы:

- внедрение концепции QRM позволяет предприятиям авиационной промышленности на 10-20% повысить ожидаемую прибыль, существенно (до 30-50%) сократить длительность исполнения заказов и выиграть во временной конкуренции, обеспечив экономически эффективную локализацию производства высокотехнологичной продукции в России или в других странах с относительно высоким уровнем заработной платы и других издержек;
- сокращение логистических затрат и потерь благодаря сокращению длительности

производственного цикла дополнительно усиливает экономическую эффективность внедрения принципов QRM, повышая ожидаемую прибыль авиастроительных предприятий на 3-5%. Однако этот фактор наиболее значим в тех видах производства, где комплектующие изделия и сырье являются относительно дорогостоящими, а производственный цикл изначально составлял несколько месяцев. Характерным примером является сборка самолетов, где вклад данного фактора в снижение себестоимости может достигать нескольких процентов.

2. Анализ средств и условий, необходимых для обеспечения экономически эффективного внедрения принципов QRM в процессе ускоренной модернизации материально-технической базы показал, что эффективное внедрение принципов QRM на предприятиях авиационной промышленности требует увеличения производительности парка производственного оборудования и стоимости основных производственных фондов, по сравнению с уровнем, соответствующим полной загрузке мощностей, в среднем, на 20-50%, в зависимости от интенсивности временной конкуренции и уровня потерь от несвоевременного выполнения производственных заказов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Клочков, В.В. Экономические проблемы организации виртуальных машиностроительных предприятий / В.В. Клочков, Д.И. Сазонов // Технология машиностроения. 2007. № 8. С. 73-77.
2. Рыжиков, Ю.И. Теория очередей и управление запасами. – СПб: Питер, 2001. 384 с.
3. Таха, Х. Введение в исследование операций. – М.: Вильямс, 2001. 912 с.
4. Трнев, Н.Н. Предприятие и его структура: анализ, диагностика, оздоровление. – М.: Приор, 2002. 240 с.
5. Aircraft Engine and Engine Parts Manufacturing: 1997; 2002, 2007 // in: 1997; 2002, 2007 Economic Census. Manufacturing. Industry series. U.S. Census Bureau, 1999; 2004, 2009.
6. Aircraft Manufacturing: 1997, 2002, 2007 // in: 1997; 2002, 2007 Economic Census. Manufacturing. Industry series. U.S. Census Bureau, 1999; 2004, 2009.
7. Other Aircraft Parts and Auxiliary Equipment Manufacturing: 1997, 2002, 2007 // in: 1997; 2002, 2007 Economic Census. Manufacturing. Industry series. U.S. Census Bureau, 1999; 2004, 2009
8. Suri, Rajan (1998a), Quick Response Manufacturing. A Companywide Approach to Reducing Lead Times, Productivity Press.
9. Suri, Rajan (2010a), It's About Time. The Competitive Advantage of Quick Response Manufacturing, Productivity Press.
10. Suri, Rajan (2010b). A Quick Response to Office Management. Industrial Management 52 (1): 25–30.

A PROBLEM OF ENSURING THE AIRCRAFT MANUFACTURING «JUST-IN-TIME» AND «QUICK RESPONSE MANUFACTURING» CONCEPT

© 2014 V.V. Klochkov¹, V.A. Vdovenkov²

¹ Institute of Control Sciences named after V.A. Trapeznikov RAS, Moscow

² Moscow Aviation Institute

A Quick Response Manufacturing (QRM) concept implementation efficiency analysis in aircraft industry enterprises was carried out. An economic-mathematical model of aircraft manufacture considering temporal, logistic factors and irregularity of demand for products was suggested to obtain quantitative estimations.

Key words: *temporal competition, just-in-time, quick response manufacturing, logistic cost, loss of profit, production capacity, economic-mathematical model, queuing theory*