

УДК 338.32:519.8

## **Методы оптимизации уровня мощностей серийного и опытного производства наукоемкой продукции (на примере средств спутниковой связи)**

**Котешков М.А. \*, Добров В.П. \*, Ключков В.В. \***

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

*\*e-mail: [kaf506@mai.ru](mailto:kaf506@mai.ru)*

### **Аннотация**

Предложены методы оптимизации уровня мощностей опытного и серийного производства наукоемкой продукции с учетом изменчивости выпуска и логистических аспектов. Определена оптимальная степень избыточности мощностей серийного производства, по сравнению с уровнем, соответствующим полной загрузке. Также оценено оптимальное соотношение мощностей опытного и серийного производства инновационной продукции. На основе результатов параметрических расчетов, обоснованы требования к характеристикам перспективных технологий и производственного оборудования предприятий, в частности, к временным и стоимостным характеристикам изменения номенклатуры выпускаемой продукции и объемов производства.

**Ключевые слова:** производственные мощности, опытное и серийное производство, моделирование, оптимизация, система массового обслуживания

## **Введение**

Радиоэлектронный комплекс (РЭК) является одной из наиболее наукоемких отраслей оборонной промышленности. Одной из приоритетных подотраслей РЭК является приборостроение, в состав которого в России входит более 40 предприятий. В свою очередь, одним из основных направлений деятельности приборостроения является разработка и производство средств радиосвязи, в т.ч., средств спутниковой связи. С точки зрения технологии и организации производства, для РЭК в целом и для производства средств связи характерны такие особенности как относительно высокая (по отношению к жизненному циклу изделий, ЖЦИ) длительность проектирования изделий, потребность в значительном количестве испытаний, постоянном создании опережающего научно-технического задела. Производственные мощности предприятий РЭК должны обеспечивать оперативную реализацию результатов исследований и разработок в рамках жестких ресурсных ограничений. Для успешного выполнения стоящих перед отраслью задач, зафиксированных в государственных и федеральных целевых программах [1], необходимо многократное сокращение длительности производства опытных образцов и опытно-промышленных партий изделий (в т.ч. для обеспечения возможности их скорейшей доводки, освоения в эксплуатации, подготовки и проверки необходимой логистической инфраструктуры и т.д.). Следовательно, целесообразна организация опытных производств, которые могут освоить выпуск инновационной продукции значительно быстрее, чем будет освоено серийное производство. Однако оперативный выпуск единичных экземпляров или мелких партий изделий неизбежно потребует более высоких удельных затрат, чем

серийное производство. Необходимо оценить рациональный уровень мощностей опытного производства средств спутниковой связи, а также выработать научно обоснованные требования к характеристикам используемых в опытном производстве технологий и оборудования. В ряде предшествующих работ [2, 3] проблема выбора между временным и стоимостным преимуществом при освоении производства инновационной наукоемкой продукции ставилась и решалась, но, в ином смысле – как проблема оптимизации характеристик самой продукции или темпов наращивания ее выпуска, а не оптимизации уровня мощностей опытного производства.

Традиционные рекомендации по обеспечению высокой эффективности использования производственных мощностей предусматривают повышение их загрузки, минимизацию избытка мощностей. В то же время, в условиях изменяющегося (причем, не всегда прогнозируемым образом) спроса на продукцию, минимизация уровня производственных мощностей приводит к образованию очередей на выполнение заказов, к высокой длительности ожидания для заказчиков, что категорически неприемлемо в условиях жестких временных ограничений. Это особенно актуально в приборостроении, в частности, в производстве средств спутниковой связи, ввиду срочного характера многих ответственных заказов. Повысить оперативность выполнения заказов в серийном производстве можно путем повышения производительности оборудования и обеспечения некоторой избыточности уровня производственных мощностей. Соответствующие решения лежат в русле современной концепции «быстро реагирующего производства» (QRM, Quick Response Manufacturing, подробнее см. [4]). Однако поддержание избыточного уровня производственных мощностей, разумеется, сопряжено с дополнительными затратами

Принятие обоснованных решений в этой сфере возможно только на базе расчетов, количественных оценок, для которых, в свою очередь, необходимо разработать работоспособные методы и модели, оперирующие доступными исходными данными.

## **2.2. Метод оптимизации уровня мощностей опытного производства с учетом факторов конкуренции на рынках инновационной продукции**

Опытные производства могут освоить выпуск инновационной продукции значительно быстрее, чем будет освоено серийное производство. Однако оперативный выпуск единичных экземпляров или мелких партий изделий неизбежно потребует более высоких удельных затрат, чем серийное производство. Необходимо оценить, какой рациональный уровень производственных мощностей требуется для удовлетворения спроса на инновационный продукт в начале его жизненного цикла, и в дальнейшем, по мере освоения серийного производства.

Предположим, что в данный (принятый за начальный) момент времени разработан инновационный продукт, и предстоит освоить его производство. Вначале оно может быть освоено на опытно-промышленной базе, обладающей мощностью  $V_{\text{оп}}$  (ед./г), за время  $\tau_{\text{оп}}$  (считаем, что по окончании этого периода завершается технологическая подготовка производства, ТПП, и производство скачкообразно выходит на полную мощность). Также в данный момент начинается освоение серийного производства инновационного продукта. Однако это требует существенно большего времени  $\tau_c \gg \tau_{\text{оп}}$ . Длительность жизненного цикла одного типа продукции данного вида обозначим  $T$ . Мощность одного серийного

производителя обозначим  $V_c$ , ед./г. Если инноватор, благодаря временному преимуществу, является на рынке монополистом, то серийных производителей (системных интеграторов в сетевых структурах) уже может быть несколько. Число таких конкурирующих производителей обозначим  $n$ . Пусть рынок инновационного продукта характеризуется известным законом спроса  $p = p(q_\Sigma)$ , где  $q_\Sigma$ , ед./г - суммарный объем предложения на рынке,  $\frac{\partial p}{\partial q_\Sigma} \leq 0$ . Он принимает различные значения на протяжении ЖЦ инновационного продукта:  $q_\Sigma(t) = q_{\text{оп}}$  в период монопольного присутствия инноватора на рынке, т.е. при  $t \in (\tau_{\text{оп}}; \tau_c)$ , или  $q_\Sigma(t) = \sum_{i=1}^n q_i$  (где  $q_i$  - объем продаж  $i$ -го серийного производителя,  $i = 1, \dots, n$ ) - с момента  $\tau_c$ , когда на рынок выйдут серийные производители. Если считать их равноценными, тогда  $q_1 = q_2 = \dots = q_n = q_c$ . В общем случае спрос на инновационный продукт на протяжении его жизненного цикла отнюдь не остается постоянным, и меняется немонотонно. Здесь для упрощения модели предполагается, что  $\frac{\partial q_\Sigma}{\partial t} \equiv 0$ .

Предельную себестоимость единицы продукции будем считать постоянной и не зависящей от выпуска. Обозначим средние переменные издержки на выпуск единицы продукции, соответственно,  $c_{\text{оп}}$  для опытного производства и  $c_c$  для крупносерийных производителей. Благодаря большим масштабам производства, последние, разумеется, могут обеспечить меньшую себестоимость единицы продукции:  $c_c < c_{\text{оп}}$ . Постоянные затраты обеих категорий производителей связаны, прежде всего, с созданием и поддержанием производственных мощностей.

Обозначим  $\varphi_{\text{оп}}$  и  $\varphi_c$  фондоемкости, соответственно, для опытно-промышленного производства (далее ОПП) и для крупносерийных производителей. Тогда, в расчете на год, постоянные затраты составят, соответственно,  $FC_{\text{оп}} = \frac{\varphi_{\text{оп}} \cdot V_{\text{оп}}}{s_{\text{оп}}}$  - для ОПП, и  $FC_c = \frac{\varphi_c \cdot V_c}{s_c}$  - для одного серийного производителя (здесь  $s_{\text{оп}}$  и  $s_c$  - нормативные сроки службы оборудования, соответственно, для ОПП и для крупносерийных производителей).

Для оценки объемов выпуска предположим, что производители полностью используют свои производственные мощности. В данной модели ОПП и крупносерийные производители не конкурируют непосредственно на рынках продукции – предполагается, что крупные производители сменяют опытное производство в момент  $\tau_c$ . До этого момента ОПП является монополистом на рынке инновационной продукции, и для него можно решить задачу оптимизации уровня производственных мощностей независимо от политики серийных производителей (конкурирующих между собой)<sup>1</sup>. Оптимальный уровень производственных мощностей ОПП  $V_{\text{оп}}^*$  должен удовлетворять следующему условию:

$$p(V_{\text{оп}}^*) + \left( \frac{\partial p}{\partial q_{\Sigma}} \Big|_{q_{\Sigma}=V_{\text{оп}}^*} \right) \cdot V_{\text{оп}}^* = c_{\text{оп}} + \frac{\varphi_{\text{оп}}}{s_{\text{оп}}} \cdot \frac{T}{\tau_c - \tau_{\text{оп}}}.$$

<sup>1</sup> Если предположить, что опытное и серийное производства четко разделены по периодам, когда они задействованы, тогда задачи оценки рационального уровня производственных мощностей обоих типов производства можно решать независимо. Это означает, в частности, что на результаты расчетов не повлияет то, принимаются ли решения об уровнях мощностей опытного и серийного производства одними и теми же субъектами, или различными. Т.е. для целей данного исследования несущественно, в каких организационных формах создаются опытные производства – в форме независимых НПО, ОКБ, инжиниринговых фирм, или подразделений крупных компаний, занимающихся и серийным выпуском продукции.

Пусть функция спроса линейна:  $p = a - b \cdot q_{\Sigma}$ , где  $a$  - т.н. *запретительная цена*, т.е. такая цена, при которой спрос падает до нуля, а  $b$  - параметр, характеризующий емкость рынка (в данном случае, она составляет  $\frac{a}{b}$ ). При линейном законе спроса, оптимальный уровень мощностей ОПП принимает следующий вид:

$$V_{\text{оп}}^* = \frac{a - c_{\text{оп}} - \frac{\varphi_{\text{оп}}}{s_{\text{оп}}} \cdot \frac{T}{\tau_c - \tau_{\text{оп}}}}{2b}.$$

В период серийного производства на рынке работает  $n$  конкурирующих производителей, и цена (а, следовательно, выручка и прибыль каждого конкурента) зависит от их общего объема выпуска, задача оптимизации уровня мощностей отдельного производителя должна решаться лишь совместно с аналогичными задачами других конкурентов. Это хорошо известная в экономике модель конкуренции нескольких крупных производителей, т.е. *олигополия*. Простейшая модель олигополии – т.н. *модель Курно* – основана на том, что каждый участник оптимизирует свой выпуск, ожидая, что ответного изменения выпусков конкурентами не последует. При таком допущении можно, рассмотрев соответствующую игровую модель, найти равновесное значение уровня производственных мощностей отдельного производителя. При линейной функции спроса оно имеет следующий вид:

$$V_c^* = \frac{a - \left( c_c + \frac{\varphi_c}{s_c} \cdot \frac{T}{T - \tau_c} \right)}{(n+1) \cdot b}.$$

Такой мощностью должен обладать каждый из  $n$  серийных производителей.

Суммарный уровень производственных мощностей серийных производителей в  $n$

раз выше: 
$$V_{\Sigma}^* = n \cdot V_c^* = \frac{n}{n+1} \cdot \frac{a - \left( c_c + \frac{\varphi_c}{s_c} \cdot \frac{T}{T - \tau_c} \right)}{b}.$$

Обозначим для краткости  $C_{оп}$  и  $C_c$  значения суммарных удельных затрат на единицу продукции (как переменных, так и постоянных), соответственно, для опытного и для серийного производства:

$$C_{оп} = c_{оп} + \frac{\varphi_{оп}}{s_{оп}} \cdot \frac{T}{\tau_c - \tau_{оп}}; \quad C_c = c_c + \frac{\varphi_c}{s_c} \cdot \frac{T}{T - \tau_c}.$$

Тогда оптимальные уровни производственных мощностей опытного и серийного производства можно представить как  $V_{оп}^* = \frac{a - C_{оп}}{2b}$  и  $V_{\Sigma}^* = \frac{n}{n+1} \cdot \frac{a - C_c}{b}$ .

Можно представить выражение для суммарного уровня производственных мощностей серийных производителей в следующем виде:

$$V_{\Sigma}^* = \frac{a}{b} \cdot \frac{n}{n+1} \cdot \left[ 1 - \frac{1-r}{1+n \cdot r} \right] = \frac{a}{b} \cdot \frac{n \cdot r}{1+n \cdot r},$$

где  $r$  - рентабельность по выручке, или рентабельность продаж предприятий.

Т.е. суммарные производственные мощности всех серийных производителей составляют долю  $\frac{n \cdot r}{1+n \cdot r}$  от емкости рынка данного вида продукции. Например, на рынке дуополии ( $n = 2$ ), что характерно для многих рынков наукоемкой продукции и ее компонент, при уровне рентабельности 15% уровень мощностей должен составлять 3/13, т.е. приблизительно 23%, емкости рынка, и т.п.



Сопоставив полученные итоговые выражения для оптимального уровня производственных мощностей ОПП  $V_{оп}^*$  и суммарных производственных мощностей серийных производителей  $V_{\Sigma}^*$ , можно оценить соотношение производственных мощностей опытных и серийных производств. Можно выразить через рентабельность серийного производства и значение оптимальной мощности ОПП. Тогда соотношение оптимальных уровней производственных мощностей опытного и серийного производства можно представить как

$$\frac{V_{оп}^*}{V_{\Sigma}^*} = \frac{\frac{1}{2} \cdot \left[ 1 - \frac{C_{оп}}{C_c} \cdot \frac{1-r}{1+n \cdot r} \right]}{\frac{n}{n+1} \cdot \left[ 1 - \frac{C_c}{a} \right]} = \frac{1+n \cdot r - \frac{C_{оп}}{C_c} \cdot (1-r)}{2n \cdot r}.$$

Оценить же соотношение стоимости основных производственных фондов опытных и серийных производителей можно, умножив соотношение  $\frac{V_{оп}^*}{V_{\Sigma}^*}$  на отношение фондоемкостей, равных, соответственно,  $\varphi_{оп}$  и  $\varphi_c$ :  $\frac{F_{оп}^*}{F_{\Sigma}^*} = \frac{\varphi_{оп}}{\varphi_c} \cdot \frac{V_{оп}^*}{V_{\Sigma}^*}$ .

На рис. 1 приведены графики зависимостей соотношения уровней производственных мощностей опытных и серийных производств в отрасли  $\frac{V_{оп}^*}{V_{\Sigma}^*}$  от длительности освоения опытного производства  $\tau_{оп}$ . Графики построены для двух значений длительности освоения серийного производства  $\tau_c = 2$  г и  $\tau_c = 3$  г, при следующих исходных данных:

- число конкурирующих серийных производителей  $n = 2$ ;
- рентабельность серийного производства  $r = 15\%$ ;
- длительность жизненного цикла изделий данного типа  $T = 10$  лет;

○ коэффициент прямых затрат (т.е. отношение суммы материальных затрат и затрат на оплату труда к выручке) серийного производства  $m_c = 80\%$  ;

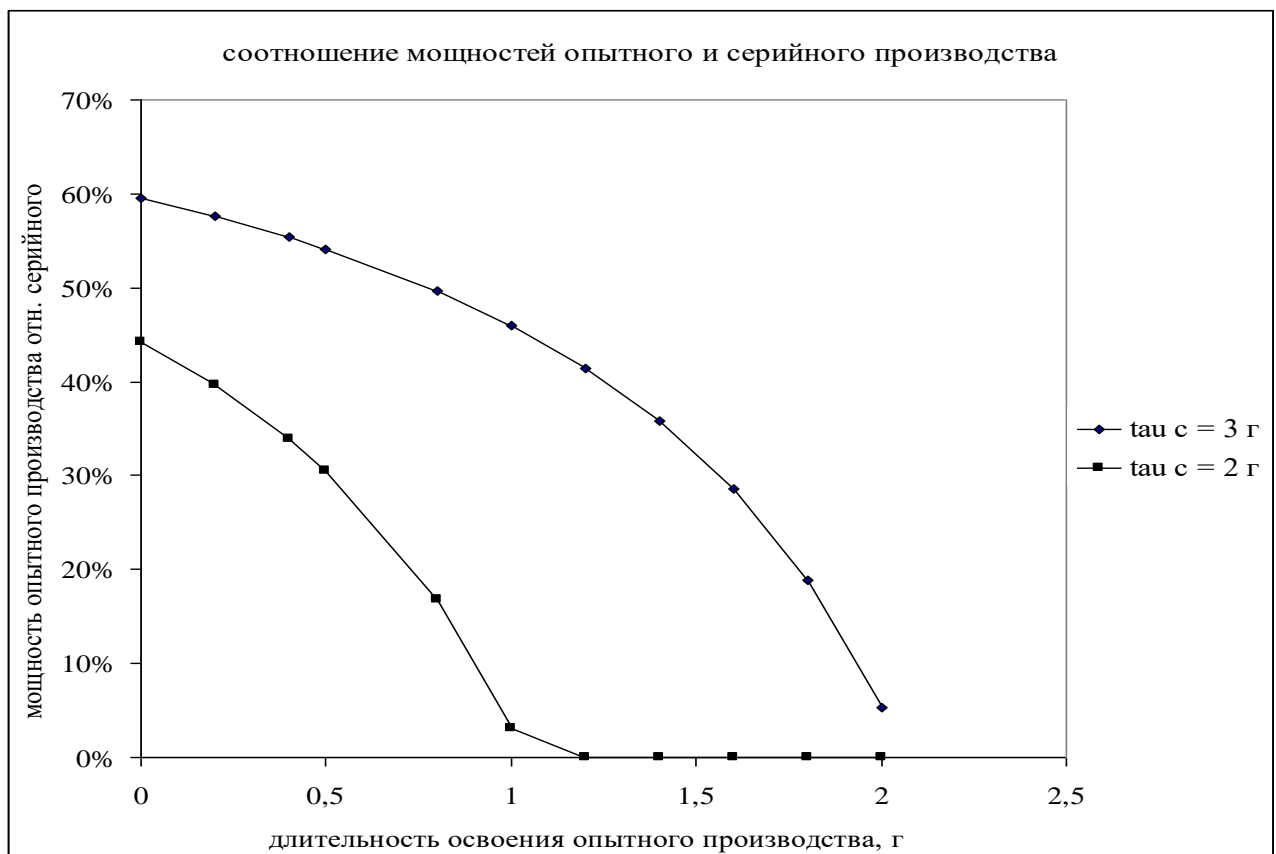
○ стоимостная амортизационность (т.е. отношение амортизационных отчислений к выручке) серийного производства  $d_c = 5\%$  ;

○ отношение удельных переменных затрат на единицу продукции опытного и серийного производства  $\frac{c_{оп}}{c_c} = 1,0$ ;

○ отношение амортизационности опытного и серийного производства  $\left(\frac{\varphi_{оп}}{s_{оп}}\right) / \left(\frac{\varphi_c}{s_c}\right) = 1,0$ ;

○ отношение фондоемкостей опытного и серийного производства  $\frac{\varphi_{оп}}{\varphi_c} =$

1,0.



### Рис. 1. Отношение мощности опытного производства к мощности серийного производства, %

Из этих графиков видно, что потребность в опытном производстве существенно сокращается по мере ускорения освоения серийного производства, а также по мере увеличения длительности запуска опытного производства. В приведенном примере организация опытного производства при сокращении сроков освоения серийного выпуска до  $\tau_c = 1$  г становится заведомо нецелесообразной, даже если бы оно могло вступать в работу мгновенно. Если же срок освоения серийного выпуска составляет  $\tau_c = 2$  г, потребность в опытном производстве полностью отпадает при длительности его запуска, равной  $\tau_{оп} = 1$  г; при  $\tau_c = 3$  г, опытное производство станет полностью неэффективным при  $\tau_{оп} = 2$  г.

В то же время, если опытное производство будет намного – на порядок – мобильнее серийного, его оптимальная мощность может составлять десятки процентов мощности серийного производства. Например, при  $\tau_{оп} = 0,5$  г, рациональное отношение уровня производственных мощностей составит  $\frac{V_{оп}^*}{V_{\Sigma}^*} = 54\%$

при  $\tau_c = 3$  г, и  $\frac{V_{оп}^*}{V_{\Sigma}^*} = 31\%$  при  $\tau_c = 2$  г.

Итак, соотношение уровней производственных мощностей, а также стоимостей основных производственных фондов опытного и серийного производства зависит от соотношения суммарных удельных затрат  $\frac{C_{оп}}{C_c}$ . Для того, чтобы производство оставалось рентабельным, значения суммарных удельных

затрат не должны превышать запретительной цены:  $C_{\text{он}} < a$ ,  $C_c < a$ . В то же время, запретительная цена может быть выражена через измеримые характеристики рынка серийно производимой продукции:  $a = \frac{1+n \cdot r}{1-r} \cdot C_c$ . Следовательно, себестоимость единицы продукции в опытном производстве не должна превышать себестоимости продукции в серийном производстве более, чем в  $\frac{1+n \cdot r}{1-r}$  раз. Поскольку рынки ВВСТ, как правило, являются олигополистическими, число конкурирующих производителей невелико: как правило,  $n = 2 \dots 5$ . Также, как правило, невелика рентабельность серийного производства – в реальности даже без учета налогов и т.п. факторов она не превышает 15-20%. Таким образом, допустимый «коридор» превышения удельных затрат в опытном производстве над уровнем удельных затрат на единицу продукции при ее серийном выпуске, относительно узок: от 33% при  $n = 2$  и  $r = 10\%$  до превышения в 2,5 раза при  $n = 5$  и  $r = 20\%$ . Такие оценки определяют требуемые параметры технологий опытного производства и применяемого в нем оборудования.

### **Метод оптимизации уровня мощностей серийного производства с учетом изменчивости выпуска и логистических аспектов**

Как правило, традиционные рекомендации обеспечивать близкую к 100%-й загрузку производственного оборудования удлиняют период исполнения заказов. В условиях стохастического спроса на продукцию, отсутствие избыточности производственных мощностей приводит к образованию очередей на выполнение заказов, к высокой длительности ожидания для заказчиков. В то же время,

сокращение сроков исполнения заказов может привести попутно и к снижению полной себестоимости производства. 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.

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 оборудования. Принятие обоснованных решений в этой сфере возможно только на базе расчетов, количественных оценок. Анализ целесообразности и возможных последствий повышения избыточности производственных мощностей в РЭК может быть проведен с помощью математических моделей, учитывающих потери из-за несвоевременного исполнения заказов, логистические потери из-за высокой длительности производственного цикла и содержания производственных запасов, а также потери из-за избыточности производственных мощностей. Такие модели были построены на основе теории массового обслуживания (теории очередей).

Рассмотрим производственный объект (цех, участок) как *систему массового обслуживания* (СМО, подробнее см. [5, 6]), 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  $\mu$ , заявок/ед. врем. Будем рассматривать элементарные каналы обслуживания, каждый из которых одновременно может обслуживать лишь одну заявку. Тогда  $\mu = \frac{1}{t_{\text{заказ}}}$ , где  $t_{\text{заказ}}$  - средняя длительность выполнения заказа одним каналом (она же представляет собой и среднюю длительность пребывания заказа в обработке). Входящий поток заявок имеет интенсивность  $\lambda$ , заявок/ед. врем. В данной СМО в общем случае допускается очередь. Она может быть ограниченной по времени ожидания (это учитывается как случайный поток 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 конкуренцию, 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 заявок, прежде чем они покинут очередь. Чем жестче конкуренция, тем ниже эта длительность ожидания. Отказ в обслуживании, уход 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.

По стандартной классификации систем массового обслуживания, здесь рассматривается многоканальная СМО с очередью, ограниченной по времени ожидания. Важнейшими выходными характеристиками данной СМО являются

- 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 [5, 6]. Такие модели СМО строятся в предположении, что все потоки событий являются *простейшими*, т.е. пуассоновскими. Это 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:

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

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 упрощения не будем учитывать непосредственные штрафы за отказ в обслуживании. Обозначив ставку штрафа штрафы за ожидание в очереди  $c_{\text{оч}}$  (в расчете на 1 заявку в единицу времени), получим:

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

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:

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

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 комплектующих изделий в радиоэлектронной промышленности, именно последний фактор преобладает, и в качестве нижней

---

<sup>1</sup> 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.).



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 как

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

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:

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

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

Для иллюстрации расчетов по предложенной здесь модели примем следующий набор исходных данных:

- цена продукции  $p = 100$  ден. ед.;
- коэффициент материальных затрат  $a = 50\%$ ;
- коэффициент трудовых затрат  $l = 25\%$ ;
- ставка процента  $i = 15\%$  годовых;
- стоимостная амортизационность производства  $f = 7\%$ ;



## Рис. 2. Зависимость прибыли от количества каналов обслуживания (пример)

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. В то же время, и «оптимизация» мощностей до  $n_{min} = 1$  приведет к сокращению прибыли, по сравнению с максимальной, почти на 16%. Таким образом, рационально обоснованная избыточность уровня производственных мощностей предприятий-производителей средств спутниковой связи может, в зависимости от конкретного производства, составлять десятки процентов. Причем, здесь невозможно выработать универсальные рекомендации, а конкретные зависят от вида производства и могут быть обоснованы при помощи предложенной математической модели.

Предложенная здесь модель позволяет оценить целесообразность внедрения универсального, гибкого оборудования. 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. Оптимальный уровень мощности опытно-производственной базы предприятий-производителей средств связи, в зависимости от соотношения себестоимости и длительности освоения выпуска новой продукции, составляет 20-50% уровня мощности серийного производства. Для обеспечения эффективной загрузки опытных производств на протяжении жизненного цикла изделий следует обеспечить гибкость и универсальность оборудования, позволяющие реализовать внутри- и межотраслевую диверсификацию производственной программы.

2. Анализ факторов, влияющих на эффективность развития опытно-производственной базы предприятий-производителей средств спутниковой связи показал, что эффективная организация опытных производств инновационной продукции в рамках научно-производственных объединений возможна, если будет обеспечена себестоимость опытно-промышленной продукции на уровне, превышающем себестоимость серийной продукции, не более, чем на 20-30%. При этом длительность освоения опытного производства не должна превышать 0,4-1 г, при длительности освоения серийного производства на уровне 2-3 лет. Эти условия определяют требования к качественным характеристикам технологий и оборудования опытного производства, а также единой информационной среды организации проектирования и производства инновационной продукции.

3. Проведенные с помощью разработанной модели параметрические расчеты показали, что на предприятиях-производителях средств спутниковой связи может быть целесообразным увеличение производительности парка производственного оборудования, по сравнению с уровнем, соответствующим 100%-й загрузке мощностей, в среднем, на 20-50%, в зависимости от интенсивности временной

конкуренции и уровня потерь от несвоевременного выполнения производственных заказов. Это позволяет на 10-20% повысить ожидаемую прибыль, существенно (до 30-50%) сократив длительность исполнения заказов. Сокращение логистических затрат и потерь благодаря сокращению длительности производственного цикла дополнительно усиливает эффективность обеспечения избыточности мощностей, повышая ожидаемую прибыль предприятий на 3-5% в тех видах производства, где комплектующие изделия и сырье являются относительно дорогостоящими, а производственный цикл изначально составлял несколько месяцев.

### **Библиографический список**

1. Оптимизация программных мероприятий развития оборонно-промышленного комплекса: Монография / под ред. А.М. Батьковского, А.В. Фоминой. – М.: ТЕЗАУРУС, 2014. – 504 с.
2. Клочков В.В., Критская С.С. Анализ влияния темпов освоения производства новой техники на ее конкурентоспособность // Экономический анализ: теория и практика. 2013. № 4 (307). С. 11-22.
3. Клочков В.В., Русанова А.Л., Максимовский В.И. Экономико-математическое моделирование процессов освоения серийного производства новых гражданских самолетов // Вестник Московского авиационного института. 2010. Т. 17. № 3. С. 236-246.
4. Сури Р. Время – деньги. Конкурентное преимущество быстрореагирующего производства / пер. с англ. - М.: БИНОМ; Лаборатория знаний, 2013. - 326 с.

5. Рыжиков Ю.И. Теория очередей и управление запасами. - СПб: Питер, 2001 – 384 с.
6. Таха Х. Введение в исследование операций. - М.: Вильямс, 2001 – 912 с.