

В.В. Клочков, А.К. Никитова

МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СПРОСА НА БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ И РАБОТЫ ПО ВОЗДУШНОМУ ПАТРУЛИРОВАНИЮ

В статье рассматриваются методы прогнозирования спроса на беспилотные летательные аппараты, а также на выполняемые ими работы. Приведена упрощенная экономико-математическая модель прогнозирования экономической эффективности патрулирования магистральных трубопроводов.

Проблемы прогнозирования спроса на беспилотные летательные аппараты и патрульные работы. Одно из важнейших направлений применения беспилотных летательных аппаратов (далее – БПЛА, [1-3]) в гражданской сфере – патрулирование территорий, акваторий, магистралей и границ. В качестве примера в дальнейшем рассматриваются БПЛА, предназначенные для патрулирования трасс трубопроводов. Это направление чрезвычайно актуально для России, располагающей крупнейшей в мире сетью магистральных газо- и нефтепроводов. Общая протяженность трасс магистральных газопроводов на территории России составляет примерно 150 тыс. км, причем, значительная ее часть проходит в сложных природно-климатических условиях. Что касается трубопроводов, то они находятся в различной (в том числе и в значительной) степени изношенности (подробнее см. [4]). С одной стороны, активная хозяйственная деятельность в районах расположения трасс может представлять угрозу для работы трубопроводного транспорта. С другой – утечки и аварии на трубопроводах наносят ущерб окружающей среде и могут представлять опасность для жизни и здоровья населения. Эта проблема чрезвычайно актуальна не только для российского трубопроводного, но и для зарубежного транспорта. Так, утечки нефти на Аляске, произошедшие в марте 2006 г. вследствие коррозии нефтепровода, привели к существенному загрязнению окружающей среды в природоохранной зоне и как следствие к значительным экологическим штрафам, выплаченным нефтедобывающими компаниями, а также к приостановке эксплуатации крупнейших месторождений.

В современных условиях возникают новые виды рисков, например, риск несанкционированного отбора продукта из трубопровода или умышленное повреждение последнего. Компании-операторы трубопроводов как в России, так и за рубежом заинтересованы в комплексном решении задач патрулирования трасс в интересах экологического мониторинга, контроля технического состояния и обеспечения безопасности объектов. С этой целью создаются специализированные подразделения, осуществляющие патрулирование трасс трубопроводов (в настоящее время – с помощью пилотируемых вертолетов или самолетов), проводятся прикладные исследования [4].

О значительном интересе к применению БПЛА в топливно-энергетическом комплексе (ТЭК) свидетельствует тот факт, что в начале 2007 г. в Москве прошла первая специализированная выставка «Беспилотные многоцелевые комплексы в интересах ТЭК», [3]. Авиастроительные предприятия рассматривают ТЭК в

качестве важнейшего потенциального заказчика БПЛА – не в последнюю очередь в силу высокой платежеспособности этого ведущего сектора отечественной экономики. Предъявляя спрос на новые виды летательных аппаратов, новые средства мониторинга, информационно-управляющие системы, российский ТЭК повышает экономическую эффективность и безопасность своего функционирования, в свою очередь способствуя в определенной мере развитию наукоемких отраслей и диверсификации российской экономики.

Ведущие авиационные державы мира и авиастроительные компании в настоящее время разрабатывают множество типов перспективных БПЛА, в том числе гражданского назначения. Так, в США еще в 2001 г. расходы на НИОКР по БПЛА превысили 1,2 млрд. долл. [2]. Не остаются в стороне от этого процесса и российские предприятия [1-3] и даже предприятия некоторых развивающихся стран мира, которые до сих пор не имели собственной авиационной промышленности. Однако хотя сами по себе БПА, как правило, проще и дешевле пилотируемых, их создание требует значительных инвестиций, следовательно, надежных методов прогнозирования спроса. Публикуемые за рубежом прогнозы суммарной емкости рынков БПЛА (см., например, [1, 2]) имеют следующие недостатки. Во-первых, либо публикации не содержат методического обоснования прогнозов, либо авторы открыто признают, что прогнозы основаны не на модельных расчетах, а на экспертных оценках. В результате, прогнозы разных авторов различаются на порядок даже по величине. Во-вторых, прогнозы совокупного спроса принципиально неспособны дать ответ на вопрос о доле рынка БПЛА, которую могли бы занять те или иные, в том числе российские, производители.

Рынки патрульных работ и БПЛА являются относительно новыми и бурно развиваются в последние годы. Поэтому к ним неприменимы многие рекомендации, выработанные эмпирическим путем для рынков авиаперевозок и традиционной продукции авиационной промышленности – например транспортных самолетов. С одной стороны, это порождает новые методологические проблемы в сфере маркетинга. С другой – решение этих проблем может оказаться актуальным и для традиционных сегментов рынка авиатехники, который вступает в период глубоких структурных изменений. Наиболее часто для прогнозирования рыночной конъюнктуры применяются эконометрические методы. Однако такой подход, опирающийся на исторические данные о динамике цен и объемов продаж, ограниченно применим к рынкам, подверженным качественным преобразованиям, тем более к новым рынкам. В этих случаях более обоснован иной подход [5] – непосредственное моделирование поведения потенциальных потребителей и продавцов. Рационально действующий заказчик выберет тот продукт, который обладает для него наибольшей экономической эффективностью, и будет приобретать его в наиболее эффективных объемах. Таким образом, прогнозирование спроса на БПЛА и патрульные работы требует корректной оценки их экономической эффективности.

В рыночных условиях возник ряд новых проблем анализа экономической эффективности продукции авиационной промышленности. В условиях функционирования множества независимых эксплуатирующих организаций вместо единой авиакомпания экономической эффективность авиатехники становится индивидуальной для каждого потенциального заказчика. Претерпели изменения критерии экономической эффективности и методы их расчета (см. напр. [6]). Не только в России, но и во всем мире меняется парадигма анализа экономической

эффективности продукции авиационной промышленности. В современных условиях авиационная промышленность, как правило, не только производит авиатехнику, но и осуществляет ее послепродажное обслуживание до окончания ее жизненного цикла. Поэтому корректнее говорить не об эффективности изделий как таковых, а об эффективности целостной системы, включающей в себя парк летательных аппаратов (ЛА), принадлежащий определенной эксплуатирующей организации, и сервисную инфраструктуру. Более того, в состав упомянутой системы следует включить и объект, в интересах которого применяются БПЛА. Таким образом, анализ экономической эффективности БПЛА, предназначенных для патрулирования трубопроводов, необходимо проводить в рамках системы «парк БПЛА – наземная инфраструктура – трубопроводный транспорт».

Модель оптимизации объема патрульных полетов. Предположим, что трасса длиной l км патрулируется силами парка, состоящего из n однотипных БПЛА. Если среднегодовой налет на один БПЛА составляет η летных часов¹, а средняя скорость полета в режиме патрулирования равна v км/час, то за год парк пройдет расстояние, равное $n\eta v$ км. Таким образом, в среднем за год будет совершено $(n\eta v)/l$ облетов трассы, за час – $(n\eta v)/(365)(24)$ облетов, а средний период облета, выраженный в часах, можно найти по формуле:

$$t_{\text{облет}} = (365)(24(l / n\eta v)) = (365)(24(l / xv)), \quad (1)$$

где $x=n\eta$ – суммарный налет парка БПЛА, летных часов в год.

Предположим, что утечка после обнаружения устраняется силами аварийно-восстановительных служб, в среднем через $t_{\text{восст}}$ часов. Ожидаемый ущерб от утечек за год можно представить в следующем виде:

$$D = z(t_{\text{облет}} + t_{\text{восст}})l\omega_{\Sigma}\bar{q}, \quad (2)$$

где $\bar{q}$ – средняя (или ожидаемая) потеря продукта вследствие утечки, куб. м/час; ω_{Σ} – суммарная частота образования всех возможных утечек на единицу длины трубопровода, событий на 1 км/год; z – стоимостная оценка потерь из-за утечки, в расчете на 1 куб. м. Она может складываться из прямых потерь, равных цене 1 куб. м перекачиваемого продукта, экологических штрафов, затрат на устранение ущерба окружающей среде (например, разливов нефти и нефтепродуктов), неустоек за прекращение подачи продукта потребителю и т. д.

Следует подчеркнуть, что патрулирование трубопровода лишь обеспечивает оперативное обнаружение утечек и их локализацию. Но использовать получаемую при этом актуальную информацию должны аварийно-восстановительные службы, эффективность работы которых в данной модели выражается показателем $t_{\text{восст}}$. Поэтому, как следует из выражения (1), даже при неограниченном повышении интенсивности облетов трассы (т. е., при $t_{\text{облет}} \rightarrow 0$) ущерб от утечек не стремится к нулю. Надежность трубопроводного транспорта определяется совершенством всех его подсистем.

Затраты на организацию воздушного патрулирования в расчете на год можно представить в следующем упрощенном виде:

$$C_{\text{патр}} = C_{\text{пост}} + c_{\text{час}}x, \quad (3)$$

где $C_{\text{пост}}$ – годовые постоянные затраты (прежде всего, связанные с содержанием наземной инфраструктуры), $c_{\text{час}}$ – средняя стоимость летного часа БПЛА данного типа, которую в свою очередь можно упрощенно представить следующим образом:

¹ Поскольку наиболее эффективной является максимально интенсивная эксплуатация парка ЛА, η – наибольшее значение налета, достижимое при данной системе технического обслуживания и ремонта изделий, длительности периодического технического обслуживания, и т. п.

$$c_{\text{час}} = p/T + c_{\text{ТОиР}} + p_{\text{ГСМ}} g_{\text{топ}} + c_{\text{опер}}, \quad (4)$$

где p – цена нового БПЛА данного типа; T – ресурс БПЛА данного типа в летных часах; $c_{\text{ТОиР}}$ – средняя стоимость технического обслуживания и ремонта (ТОиР) БПЛА данного типа, в расчете на летный час; $p_{\text{ГСМ}}$ – цена горюче-смазочных материалов (ГСМ), за кг (с учетом доставки к месту базирования БПЛА, хранения, заправки, и т. п.); $g_{\text{топ}}$ – средний часовой расход топлива БПЛА данного типа, кг на летный час; $c_{\text{опер}}$ – средняя часовая ставка оплаты труда операторов наземных командных пунктов, которые контролируют движение БПЛА и осуществляют мониторинг информации, принимаемой с борта БПЛА в режиме патрулирования.

Таким образом, учитываются следующие статьи затрат: амортизация парка БПЛА, затраты на ТОиР, на авиатопливо, на оплату труда операторов и содержание наземной инфраструктуры. Разумеется, это чрезвычайно упрощенная модель. На данный момент не существует общепринятой методики оценки эксплуатационных затрат БПЛА. Более того, в силу многообразия сфер применения беспилотной техники [1, 3], такую универсальную методику, вероятно, не удастся построить в принципе. Тем не менее перечисленные выше статьи затрат, вероятно, будут присутствовать в любом случае.

Выполнение задач патрулирования имеет с экономической точки зрения важную характерную особенность. С одной стороны, чем чаще осуществляется облет, тем выше затраты на организацию патрулирования. С другой – повышение интенсивности патрулирования позволяет чаще обновлять информацию о состоянии патрулируемых объектов, что (при надлежащем реагировании) способствует более быстрому устранению аварии, нарушения и как следствие сокращению ожидаемого ущерба. Таким образом, в качестве целевой функции компании-потребителя патрульных услуг (при этом неважно, закупает ли она эти услуги на стороне или сама эксплуатирует парк патрульных средств) целесообразно принять сумму ожидаемых затрат на патрулирование и ожидаемого ущерба от чрезвычайных ситуаций:

$$TC = C_{\text{патр}} + D. \quad (5)$$

Может быть поставлена оптимизационная задача, в результате решения которой определяется оптимальный объем патрулирования: $TC \rightarrow \min_x$.

Представим ожидаемые потери от утечек в более компактном виде:

$$D = (a/xv) + b,$$

где $a = z l \omega_{\Sigma} \bar{q} (365)(24) l = (365)(24) z l^2 \omega_{\Sigma} \bar{q}$; $b = z l \omega_{\Sigma} \bar{q} t_{\text{восст}}$ – часть ожидаемых потерь, определяемая длительностью устранения аварии $t_{\text{восст}}$, и не зависящая от интенсивности патрулирования.

Заметим, что коэффициенты a и b вообще не зависят от характеристик парка патрульных ЛА, и полностью определяются характеристиками обслуживаемого объекта (в данном случае – трубопровода). С использованием этих коэффициентов целевая функция может быть представлена в следующем компактном виде:

$$TC(x) = C_{\text{пост}} + c_{\text{час}} x + (a/xv) + b. \quad (6)$$

Если пренебречь дискретностью управляющих переменных, необходимое условие оптимума принимает вид:

$$\frac{\partial TC}{\partial x} = c_{\text{час}} - (a/vx^2) = 0.$$

Оптимальный объем патрулирования определяется формулой:

$$x_* = \sqrt{a/vc_{\text{час}}}, \quad (7)$$

а минимально достижимый при этом уровень целевой функции – формулой

$$\begin{aligned} TC_{\min} &= C_{\text{патр}}x_* + a/vx_* + b = C_{\text{пост}} + c_{\text{час}}x_* + \\ &+ a/vx_* + b = C_{\text{пост}} + b + 2\sqrt{(a/v)c_{\text{час}}}. \end{aligned} \quad (8)$$

Разумеется, организация процесса патрулирования в реальности требует более детального учета неоднородности обслуживаемой трассы, оптимизации маршрутов облета, расположения объектов наземной инфраструктуры и т. п. Кроме того, все составляющие предлагаемой комплексной модели – модель затрат на патрулирование и модель ущерба от не обнаруженных вовремя аварий – содержат целый ряд существенных упрощений, которые можно снять в дальнейшем, учитывая, в частности, ряд нижеследующих эффектов:

- локализацию места аварии при пролете БПЛА над ним, достигаемую с определенной вероятностью, меньшей 100%, что потребует повторных пролетов;
- зависимость ущерба от времени локализации аварий нелинейным образом;
- помимо БПЛА, выполняющих полеты, необходимое количество запасных изделий, заменяющих изделия, находящиеся в длительном ремонте и т. п.

Однако основная цель представленной упрощенной модели – оценить порядок величины спроса потенциальных заказчиков на патрульные работы, а также на БПЛА, предназначенные для их выполнения. Предлагаемый нами подход может оказаться плодотворным для приближенного прогнозирования спроса на патрульные работы и средства их выполнения во многих отраслях – например, при патрулировании границ, лесов и акваторий. Этот подход применим к патрулированию не только воздушному, но и морскому, наземному и т. п.

Методы оценки спроса на БПЛА и эффективности их применения. Оптимальное количество БПЛА,купаемых для патрулирования данного трубопровода, однозначно определяется оптимальным объемом патрулирования:

$$n_* = x_* / \eta = 1/\eta\sqrt{a/vc_{\text{час}}} = 1/\eta\sqrt{[(365)(24)z\omega_{\Sigma}\bar{q}]/c_{\text{час}}v} \quad (9)$$

(разумеется, результат округляется до ближайшего целого числа). Заметим, что оптимальное число БПЛА, как и следовало ожидать, прямо пропорционально длине трассы патрулируемой магистрали. Среднегодовой спрос на БПЛА можно оценить² по следующей формуле:

$$q_* = (\eta/T)n_* = 1/T\sqrt{a/vc_{\text{час}}} = 1/T\sqrt{[(365)(24)z\omega_{\Sigma}\bar{q}]/c_{\text{час}}v}, \quad (10)$$

поскольку ежегодно будет вырабатывать свой ресурс и требовать замены на новые аппараты доля парка, в среднем, равная η/T .

Однако необходимо учитывать, что патрулирование может быть организовано с помощью различных средств (БПЛА различных типов, вертолетов и других пилотируемых ЛА, наземных средств, и т. п.), и рационально действующий заказчик выберет наиболее эффективную для него альтернативу. Следовательно, оценка емкости рынка БПЛА должна проводиться одновременно с анализом конкурентной ситуации, который в свою очередь состоит в данном случае в сравнении экономической эффективности всех альтернатив. Поскольку целевой функцией оператора трубопровода считается

² Разумеется, эта оценка справедлива лишь в стационарном режиме функционирования парка БПЛА, когда его потребная численность не изменяется в течение длительного периода времени, а возрастная структура однородна.

сумма ожидаемых затрат на патрулирование и потерь из-за аварий $ТС$, критерием выбора целесообразно считать минимальное значение этой величины $ТС_{\min}$, достигаемое с применением данного вида средств при оптимальном объеме патрулирования. Таким образом, оценки по формуле (8) необходимы для всех возможных средств патрулирования. Без учета постоянных затрат на содержание наземной инфраструктуры, согласно формуле (8), оптимальной альтернативой будет та, которая обеспечит наименьшее отношение $c_{\text{час}}/v$, т. е. наименьшие удельные затраты на километр, пройденный в режиме патрулирования. Наличие альтернативных средств патрулирования обуславливает следующий вид функции спроса на БПЛА, характерный для товаров-заменителей: с ростом цены изделий спрос на них сначала убывает постепенно (согласно формуле (10), с учетом зависимости стоимости летного часа от цены $c_{\text{час}}(p)$, определяемой формулой (4)), а при достижении некоторого порога, свыше которого БПЛА данного типа перестают быть наилучшим средством патрулирования, спрос резко падает до нуля.

Рассмотрим пример. Длину патрулируемой трассы l примем равной 150 тыс. км, порядок величины которой соответствует протяженности магистральных газопроводов в России. Среднюю частоту возникновения утечек ω_z примем равной 0,004 события на километр трассы в год, а среднюю потерю продукта вследствие утечки $\bar{q}$ – 40 тыс. куб. м/час. Пусть утечка 1 тыс. куб. м газа приносит суммарный ущерб z в размере 100 долл.³, а средняя длительность устранения аварии $t_{\text{восст}}$ составляет 12 час. Тогда, в рамках предложенной модели,

$$a \approx (3,15)(10)^{15} \quad \text{и}$$

$$b = 28800000.$$

Стоимость летного часа вертолета Ми-8, наиболее распространенного в России, составляет около 1 тыс. долл. [2]. Предположим, что компания-оператор трубопровода арендует вертолеты по указанной ставке за летный час, а все возможные расходы, связанные с выполнением патрульных работ (в том числе на содержание наземной инфраструктуры), берет на себя организация, эксплуатирующая вертолеты. Таким образом, все затраты на патрулирование выражаются для оператора трубопровода в часовой ставке оплаты. Пусть скорость полета в режиме патрулирования составляет 100 км/ч. Тогда, согласно формуле (7), оптимальный годовой объем патрульных полетов x_* составляет около 180000 летных часов в год. Минимальное значение целевой функции $ТС_{\min}$ составит при этом около 385 млн. долл. в год.

Ожидается, что отсутствие на борту БПЛА экипажа и систем его жизнеобеспечения, значительно меньшие размеры и потребная мощность существенно уменьшат при сравнимой с вертолетами скорости полета, стоимость летного часа. Это позволит не только снизить затраты на патрулирование, но и несколько увеличить интенсивность патрульных полетов и как следствие сократить предполагаемый ущерб от аварий. Пусть, например, БПЛА подходящего класса, также выполняющий патрульные полеты на крейсерской скорости 100 км/час, может обеспечивать стоимость летного часа на уровне 160 долл., а содержание наземной инфраструктуры вдоль трассы длиной 150 тыс. км обходится

³ В данном примере интенсивность утечки соответствует полному разрыву магистрального газопровода, а стоимостная оценка ущерба соответствует, по порядку величины, цене продукта. Разумеется, в реальности не каждая авария приводит к полному разрыву трубопровода. Однако до локализации и устранения крупных утечек подача продукта, как правило, прекращается, что влечет за собой убытки и неустойки из-за недопоставки продукта. Поэтому порядок произведения $z \bar{q}$ в данном примере можно считать вполне реалистичным.

в 9 млн. долл. в год. Тогда, согласно формуле (7), оптимальный годовой объем патрульных полетов x_* увеличится приблизительно до 445 тыс. лет. час./год.

Полученные в данном примере зависимости различных составляющих затрат и потерь от интенсивности полетов при патрулировании трассы с помощью вертолетов и БПЛА приведены на рисунке.

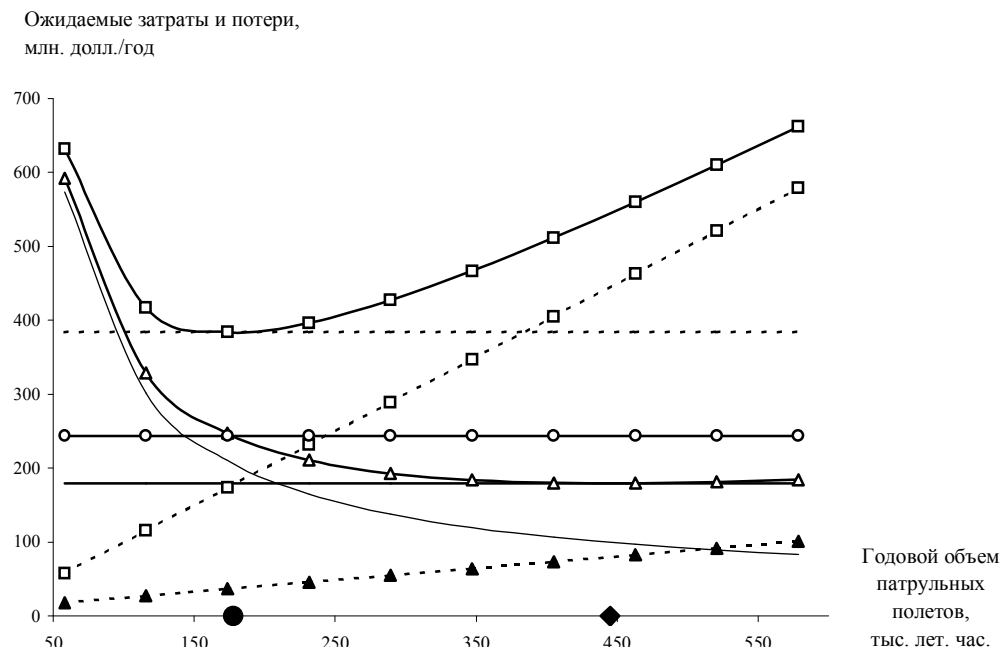


Рисунок. Ожидаемые затраты и потери в зависимости от объема патрулирования:

— D ; —▲— $C_{\text{бпла}}$; —△— $T_{\text{сбпла}}$; —□— $C_{\text{верт}}$; —□— $T_{\text{сверт}}$; ◆ $x_{\text{опт бпла}}$; ● $x_{\text{опт верт}}$;
— $TC_{\text{min бпла}}$; — $TC_{\text{min верт}}$; —○— $T_{\text{сбпла неопт}}$

На рисунке обозначены оптимальные объемы патрульных полетов, а также достигаемые при этом минимальные значения целевой функции. При замене вертолетов на БПЛА минимальное значение целевой функции TC_{min} сократится приблизительно до 180 млн. долл./год. Если бы интенсивность патрулирования при замене вертолетов не увеличивалась, экономическая эффективность внедрения БПЛА определялась бы лишь удешевлением патрулирования (как и предполагается в немногочисленных работах, посвященных прогнозированию экономической эффективности БПЛА, [1]), и годовой эффект составил бы менее 140 млн. долл./год.

Но рациональное использование новых возможностей, предоставляемых БПЛА, позволяет экономить более 200 млн. долл./год, поскольку сокращается также ожидаемый ущерб от аварий. Здесь предполагается, что объем патрульных работ, выполняемых в настоящее время с применением вертолетов, уже оптимизирован. В противном случае экономия от рационального внедрения БПЛА может оказаться еще более существенной.

Разумеется, для корректной оценки экономической эффективности замены вертолетов на БПЛА необходимо учитывать и временной фактор, поскольку

закупка БПЛА с необходимыми характеристиками, создание наземной инфраструктуры требуют значительных начальных вложений, а ожидаемая экономия проявится лишь на протяжении ряда последующих лет. Таким образом, замену вертолетов на БПЛА в сфере патрулирования трубопроводов следует рассматривать как протяженный инвестиционный проект [7], дисконтируя денежные потоки, вычисленные по предложенным выше формулам.

Оценка по формуле (9) показывает, что оптимальная численность парка БПЛА для патрулирования данной трассы составит около 150 экз., что при назначенном ресурсе 6 тыс. лет. час. и среднем налете 3 тыс. лет. час./год требует покупки, в среднем, 75 изделий в год (см. формулу (10)).

Важно отметить еще одну методологическую особенность прогнозирования спроса на БПЛА и патрульные работы. Многие технические и стоимостные параметры БПЛА, использованные в предлагаемой модели, на практике нередко неизвестны достоверно на этапе маркетинговых исследований. Так, например, трудно предсказать, каким будет ресурс и среднегодовой налет БПЛА, выполняющего патрулирование магистральных трубопроводов в условиях крайнего Севера. При этом значительный опыт эксплуатации БПЛА военного назначения, накопленный многими странами мира [3], принципиально неприменим в силу различной специфики задач патрулирования народнохозяйственных объектов и разведки в боевых условиях, когда БПЛА становятся, по существу, одноразовыми. Еще больше неопределенность цены перспективных изделий, способных выполнять весьма специфические задачи патрулирования трубопроводов (например, предполагается всепогодное и круглосуточное использование, полет на малой высоте в режиме огибания рельефа местности и т. п.). Значительная неопределенность исходных данных требует проведения параметрических расчетов, подобных приведенному выше, в широком диапазоне модельных параметров. Предложенная выше экономико-математическая модель может служить простым и эффективным маркетинговым инструментом, который позволит разработчикам и потенциальным заказчикам БПЛА прогнозировать эффективность их применения, оценивать и согласовывать приблизительные объемы их выпуска, взаимоприемлемые характеристики и цены.

* * *

Таким образом, спрос на БПЛА и выполняемые ими патрульные работы определяется экономической эффективностью патрулирования. Применение перспективных средств патрулирования способно принести существенную экономию не столько за счет удешевления патрульных полетов, сколько за счет сокращения ожидаемого ущерба благодаря более раннему обнаружению нештатных ситуаций, которое достигается при некотором увеличении интенсивности патрулирования.

Литература

1. Гаврилова А.Н. Экономические аспекты организации производства дистанционно пилотируемых летательных аппаратов. В кн.: Экономические методы организации производства в оборонно-промышленном комплексе России. М.: МАИ, 2004.
2. сайт www.aviaport.ru
3. сайт www.uav.ru
4. сайт www.gazprom.ru
5. Клочков В.В. Прогнозирование спроса на продукцию авиационной промышленности в современных условиях // Проблемы прогнозирования. 2006. № 1.
6. Клочков В.В. Критерии конкурентоспособности продукции авиационного двигателестроения // Полет. 2005. № 12.

7. Виленский П.Л., Лившиц В.Н., Смоляк С.А. Оценка эффективности инвестиционных проектов: теория и практика. М.: Дело. 2004.