

Влияние экологических нормативов на развитие авиационного двигателестроения

Метечко Л.Б., Тихонов А.И., Сорокин А.Е., Новиков С.В.

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

Россия

e-mail: engecin_mai@mail.ru

Аннотация

В статье проведен анализ влияния ужесточения экологических нормативов на рост прибыли и развитие наукоемких отраслей экономики на примере авиационного двигателестроения. В целях доказательного анализа была приведена математическая модель процессов развития и взаимодействия экологических и экономических требований в авиационном двигателестроении. На основании полученных оценок были сформулированы выводы: о гармонизации экологических и экономических интересов, предъявляемых участниками авиационного машиностроения и эксплуатации авиационной техники, а также преимущественные направления НИОКР.

Полученные выводы в отношении тенденций ужесточения экологических требований в процессе развития кластера экологии и анализ его влияния на авиационное двигателестроение могут быть полезными для прогнозирования развития остальных высокотехнологичных отраслей промышленности.

Ключевые слова: авиационное двигателестроение, аэрокосмическая индустрия, охрана окружающей среды, экологические нормативы, экономические требования, международная организация гражданской авиации, эмиссия, шум, эффективный уровень воспринимаемого шума.

Список условных обозначений:

НИОКР – научно-исследовательские и опытные конструкторские разработки;

АКД – аэрокосмическая деятельность;

ОДК – Объединенная Двигателестроительная Корпорация;

ТРДДФ - турбореактивный двухконтурный двигатель с форсажной камерой;

ОС – окружающая среда;

ИКАО – Международная организация гражданской авиации;

EPNL - эффективный уровень воспринимаемого шума;

EPN дБ – единица измерения эффективного уровня воспринимаемого шума;

ЗПК – звукопоглощающая конструкция;

η - среднегодовой налет на одно воздушное судно (в летных часах);

T - средний ресурс авиадвигателей (в летных часах);

t - средний срок службы авиадвигателей (лет);

τ - усредненный период ужесточения экологических нормативов (лет);

N - количество авиадвигателей определенного класса эксплуатирующиеся в зоне ужесточения экологических норм (шт.);

n – среднегодовой объем продаж авиадвигателей без изменения экологических нормативов (шт.);

n_3 – среднегодовой объем продаж авиадвигателей в условиях регулярного ужесточения экологических норм (шт);

C - ежегодный прирост затрат на улучшение экологических характеристик авиадвигателей;

δ – маржинальная прибыль двигателестроителей, разность цены и средних переменных затрат, приходящихся на один авиадвигатель; N внутр - число авиадвигателей в парках авиакомпаний стран третьего мира, на внутренних авиалиниях (шт.);

η внутр. - среднегодовой налет на внутренних авиалиниях этих стран обозначим (летных часов);

$R_{втор}$ - остаток ресурса авиадвигателя при продаже на вторичном рынке (летных часов);

$S_{втор}$ - среднегодовой объем предложения на вторичный рынок неизрасходованного ресурса (летных часов.);

$d_{втор}$ – среднегодовой объем спроса на вторичном рынке неизрасходованного ресурса (летных часов).

Особую роль в развитии экономики России имеют наукоемкие отрасли, которые определяют успех качественно нового инновационного пути развития отечественной промышленности, экономическую и политическую безопасность государства.

Наукоемкими называют отрасли, где отмечается повышенная интенсивность НИОКР или особенно высокая их стоимость. Показателем наукоёмкости при этом

служит отношение годового объема затрат на **НИОКР** к годовому объему продаж в отрасли.

В России с 2010 г. принят курс на формирование нового промышленного потенциала российской экономики. Инновационные организационные структуры создаются по кластерам – определенным продуктовым и технологическим областям инноватики. Распределение инновационных проектов по кластерам представлено в Табл.1. Важность перечисленных направлений является не исключительно отечественной спецификой, а отражает состояние мирового опыта инновационной деятельности. Перечисленные кластеры тесно взаимосвязаны в своем развитии и имеют общие тенденции, объединяющие инновационные проекты высокотехнологичных направлений.

Таблица 1

Распределение инновационных проектов по кластерам

Кластер	Доля в %
Медицина и биотехнологии	20
Технологии обрабатывающего оборудования и роботизация приборостроение	17
Новые материалы (вещества), новые способы производства материалов (веществ)	14
Информационные технологии, связь	12
Опτικο, - радио и микроэлектроника	10
Транспорт	10

Экология	10
Энергетика	7

Особенности развития кластера экологии определяются постоянным ужесточением экологических нормативов, и эта особенность несомненно влияет на развитие остальных направлений. Анализ взаимодействия кластеров экологии и транспорта в области АКД может быть полезным для прогнозирования развития остальных направлений инноватики. Из представленной таблицы видно, что среди кластеров инноваций экология и развитие видов транспорта находятся по оценкам отечественных и международных экспертов в одной весовой категории и суммарно составляют по значимости около 20 % современной инновационной экономики. Это убедительно демонстрирует значимость, как экологических, так и технологических инноваций в авиационном двигателестроении, являющимся приоритетным направлением в аэрокосмической деятельности и развитии транспортной индустрии.

Международные требования по авиационной безопасности постоянно повышаются, что отмечается в Государственной программе РФ "Развитие авиационной промышленности на 2013 - 2025 гг. [1]. Этим же документом определяется и снижение экологического воздействия авиационной техники, а именно: снижение шума и эмиссии двигателя и снижение влияния звукового удара на человека и окружающую среду.

Рассмотрим некоторые процессы, характерные для дальнейшего взаимного развития кластеров экологии и авиастроения и постараемся оценить

вероятность применения полученных выводов на остальные перечисленные выше отрасли инноватики. Общеизвестно утверждение о конфликте экологических и экономических потребностей общества (Рис.1.).



Рис.1. Демонстрация конфликта интересов экологических и экономических потребностей общества.

Повышение экологичности продукции приводит к удорожанию производства и снижению прибыли [2]. Как правило, самыми экономически выгодными являются «грязные» производства. Для отдельных ведущих экономических держав становится традиционной мировой практикой размещения «грязных» производств в развивающихся странах с целью получения сверхприбылей.

Основными экологическими факторами активного воздействия воздушных судов на человека и ОС считаются шум на местности и эмиссия вредных веществ. Можно заметить, что эти факторы связаны, прежде всего, с силовой установкой

летательного аппарата (двигателем), и в гораздо меньшей степени – с другими его подсистемами.

В нашей стране действуют гармонизированные с международными положениями Авиационные правила, регламентирующие, соответственно, уровни эмиссии (АП-34) и шума (АП-36) [3]. Нормы ИКАО по эмиссии вредных веществ, впервые введенные в действие в 1981г., периодически пересматриваются в сторону ужесточения. Так, в 1996г. на 20% ужесточены требования по выбросам оксидов азота, а в 2004г. допустимый уровень этого показателя был сокращен еще на 16%, и т.д.

Уровень совершенства современных авиадвигателей очень высок и достигнутые коэффициенты полноты сгорания топлива близки к 0,96 в режиме малого газа и 0,99 в расчетных режимах работы. Лишь малая часть – около 0,4% продуктов реального сгорания являются следствием «неидеальности» конструкции авиадвигателя. За последние 30 лет топливная эффективность отечественных среднемагистральных самолетов улучшилась примерно в 4 раза.

Мерой оценки шума служит эффективный уровень воспринимаемого шума EPNL, выражаемый в единицах EPN и дающий оценку субъективного восприятия воздействия авиационного шума. Система оценки в EPN дБ учитывает частотный состав излучаемого шума, наличие дискретных составляющих в спектре и продолжительность воздействия шума. При этом допустимые уровни шума на местности постепенно ужесточаются. Хотя российские самолёты укладываются в нормы ИКАО по шуму, но соперничать с Boeng и Airbus они ещё не могут. Ряд стран Евросоюза в инициативном порядке запретил полеты над своей территорией

ранее выпущенным и сертифицированным воздушным судам, которые формально не обязаны соответствовать последним новым стандартам ИКАО.

Актуальной задачей российского авиастроения является обеспечение соответствия отечественных воздушных судов и авиадвигателей международным экологическим нормам постоянно ужесточающимся практически каждые 5-10 лет. Есть мнение, что введение и последовательное ужесточение развитыми странами мира авиационных экологических стандартов преследует не столько цели защиты окружающей среды, декларируемые официально, сколько цели завоевания зарубежными компаниями более благоприятных позиций на рынках авиатехники и авиаперевозок. В пользу этой точки зрения говорит и недостаточно убедительное научное обоснование нормативных уровней шума на местности и эмиссии вредных веществ, с позиций экологии и медицины [4].

Однако существует и другое мнение, что ужесточение норм можно рассматривать как инструмент «выбивания» конкурента с поля, если конкурент не считает одним из главных приоритетов своей деятельности производство экологически чистой продукции.

Показатели экологического совершенства ныне эксплуатируемых, выпускаемых и вновь создаваемых в России воздушных судов приводятся во множестве открытых источников. Для российских самолетов – «Sukhoi Superjet 100», Ту-204 и Ту-214, МС-21, – вопрос удовлетворения новых требований технически достижим, а все новые перспективные воздушные суда и авиадвигатели в России будут удовлетворять действующим экологическим стандартам.

Зарубежные двигателестроительные компании и крупнейшие научно-исследовательские центры в России, США, Великобритании, Германии и Франции постоянно наращивают научный и технологический потенциал для кардинального улучшения экологических характеристик перспективных авиадвигателей, привлекая крупнейшие инвестиции. Авиационный двигатель, как объект производства, представляет собой очень сложное в конструктивно – технологическом отношении изделие (Рис. 2).

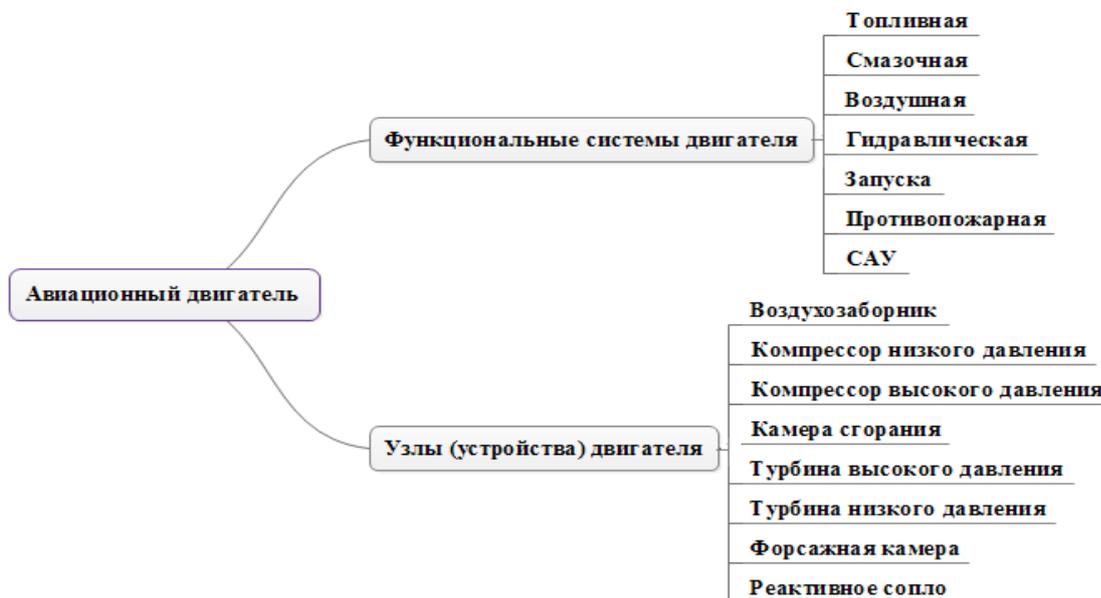


Рис.2. Основные функциональные системы и узлы двигателя ТРДДФ.

Специфика конструктивно – технологического построения авиадвигателя обуславливает особенности процессов проектирования, изготовления и обслуживания этих изделий (Рис. 3).

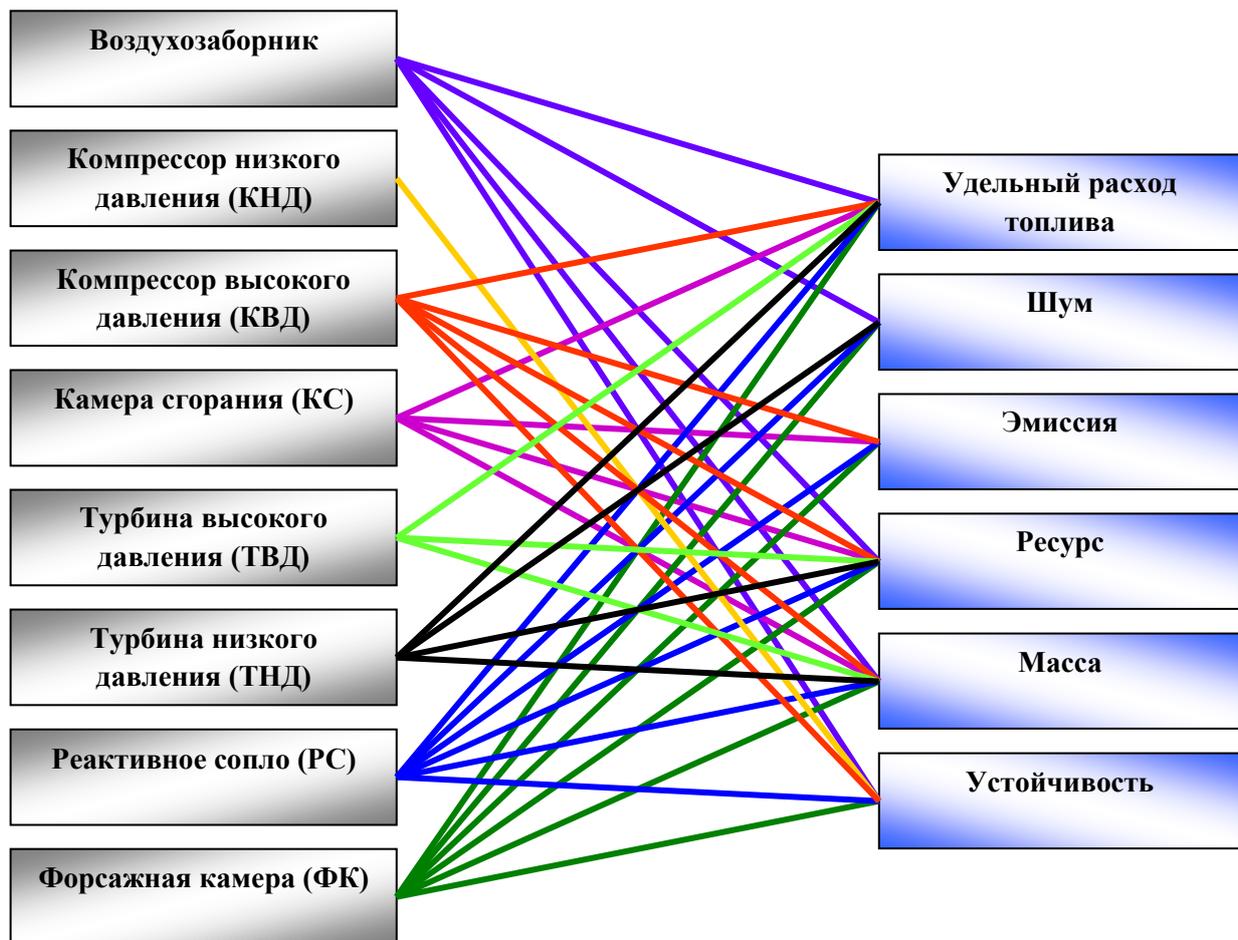


Рис.3. Влияние конструктивных элементов авиационного двигателя на некоторые его параметры

Далеко не все государства и тем более отдельные производители авиационных двигателей способны ежегодно выделять очень крупные средства на рискованные научные разработки по улучшению экологических характеристик.

Современная ситуация с продажами отечественных авиадвигателей характеризуется нестабильной динамикой, и прогнозом достаточно резкого снижения за 15 лет (Табл. 2).

Структура продаж ОДК

Вид продукции	Годы			
	2010	2015	2020	2025
Военные авиадвигатели	37 %	37 %	30%	31%
Гражданские авиадвигатели	16 %	7%	21%	29%
Вертолетные двигатели	8 %	9%	9%	9%
Наземные ГТУ	27 %	41%	35%	27%
Ракетные двигатели	2	2%	2%	2%
Прочее	10 %	4%	3%	2%

Заметна незначительная роль пассажирских самолетов на российском рынке относительно количества поставок зарубежных магистральных самолетов и авиадвигателей. При этом не очень убедительно выглядит прогнозируемое двукратное увеличение рыночной доли российских производителей к 2020 году [5].

В число основных показателей, характеризующих конструктивное совершенство авиадвигателей, входят:

- 1) экологические показатели;
- 2) показатели весового совершенства;
- 3) показатели топливной экономичности;
- 4) показатели надежности.

Все перечисленные технические характеристики находятся в тесной и чрезвычайно сложной взаимосвязи друг с другом. В связи с этим, изменение экологических характеристик неправомерно рассматривать в отрыве от таких важных технико-экономических параметров, как, например, ресурс и удельный расход топлива. Тем не менее, далеко не все прогрессивные технические новшества являются выгодными или хотя бы нейтральными, с экономической точки зрения, для всех участников рынка.

Особенного внимания требует модель конфликта интересов между производителем-монополистом и эксплуатирующими организациями. Сокращение затрат эксплуатирующих организаций с повышением ресурса двигателя ведет к сокращению объемов спроса на новые изделия и их ремонт, угрожая доходности производителей-монополистов. Ужесточение экологических требований и изменение условий сертификации парка авиационных судов, стало, как ни парадоксально, идеальным выходом из сложившегося положения. Опасаясь кардинального сокращения спроса, зарубежные двигателестроительные компании сами инициировали принятие жестких экологических норм.

Введением новых экологических нормативов они достигали сразу двух положительных эффектов:

- 1) вынужденное подорожание авиадвигателей из-за необходимости удовлетворения экологическим требованиям;
- 2) оживление спроса на новые авиадвигатели со стороны авиакомпаний развитых стран, а также стран третьего мира, поскольку старые авиадвигатели уже не смогут удовлетворять ужесточающимся экологическим требованиям.

Тактика стимулирования спроса на продукцию путем ее “принудительного ускоренного обновления” распространена весьма широко. Однако имеются существенные различия в формировании спроса на рынке наукоемких направлений и традиционных товаров потребления:

- 1) на традиционных рынках большинства потребительских товаров (одежды, обуви, товаров народного потребления) агрессивная реклама, соображения моды и традиции заставляют потребителей обновлять свое имущество гораздо чаще, чем оно изнашивается физически;
- 2) на рынках дорогостоящей продукции наукоемких направлений, например авиатехники, формирование спроса и деловые решения обновления парка определяются рациональным поведением и расчетом, в основе которых лежат лишь жесткие экономические интересы, в отличие от поведения покупателей потребительских товаров.

Заставить выводить из эксплуатации авиатехнику, не выработавшую полностью свой ресурс, могут лишь жесткие ограничения, которым авиакомпании

будут вынуждены подчиниться. Модель не работала бы, если фирмы авиаперевозчики вынуждены были бы нести убытки в случае досрочной замены двигателей, не выработавших свой ресурс, после каждого ужесточения экологических нормативов. Необходимое условие соблюдения их интересов – вторичный рынок, позволяющий реализовать технику с остаточным ресурсом и частично компенсировать убытки. Сейчас активно применяется практика активизации вторичного рынка авиатехники, который играет роль “коллектора” и обновляет ее парк в развитых странах. Аналогичные тенденции прослеживаются в остальных высокотехнологичных и наукоемких отраслях. Интерес вторичного рынка подогревается постоянным ростом следующих показателей не исчерпавшей свой ресурс техники:

- ✓ высокая надежность;
- ✓ развитая система послепродажного обслуживания;
- ✓ топливная экономичность.

В условиях наличия вторичного рынка и точно рассчитанного периода ужесточения экологических норм, маржинальная прибыль производителей авиадвигателей не будет отклоняться от средней постоянной величины и, при согласованном и регулярном повышении экологических нормативов, не нарушит паритет интересов с контрагентами (авиаперевозчиками).

Можно привести следующую упрощенную модель первичного рынка авиадвигателей в условиях регулярного ужесточения экологических норм [4]. За счет периодического ужесточения экологических норм, среднегодовой объем продаж новых авиадвигателей, эксплуатирующихся на авиалиниях развитых стран

и на международных авиалиниях, где действуют ужесточающиеся экологические стандарты возрастет с n до $n_3 > n$:

$$n_3 = \frac{N}{\tau} > \frac{N \cdot \eta}{T} = n;$$

Прирост объемов сбыта требует значительных затрат на улучшение экологических характеристик авиадвигателей, а также на возможное лоббирование ужесточения экологических норм (Рис.4).



Рис.4 Падение маржинальной прибыли производителей авиационных двигателей с ростом затрат на улучшение экологических характеристик.

Выигрыш производителей авиадвигателей от ужесточения экологических норм должен оправдывать затраты на улучшения экологических характеристик. Тогда условие возрастания прибыли двигателестроительных компаний выглядит так:

$$\delta \cdot \frac{N}{\tau} - C > \delta \cdot \frac{N \cdot \eta}{T}.$$

Следовательно, для получения эффективной прибыли производителям авиадвигателей пересмотр экологических норм в сторону ужесточения должен происходить не реже, чем раз в τ_{\max} лет:

$$\tau_{\max} = \frac{1}{\frac{\eta}{T} + \frac{C}{\delta \cdot N}} = \frac{T}{\eta + \frac{C \cdot T}{\delta \cdot N}}$$

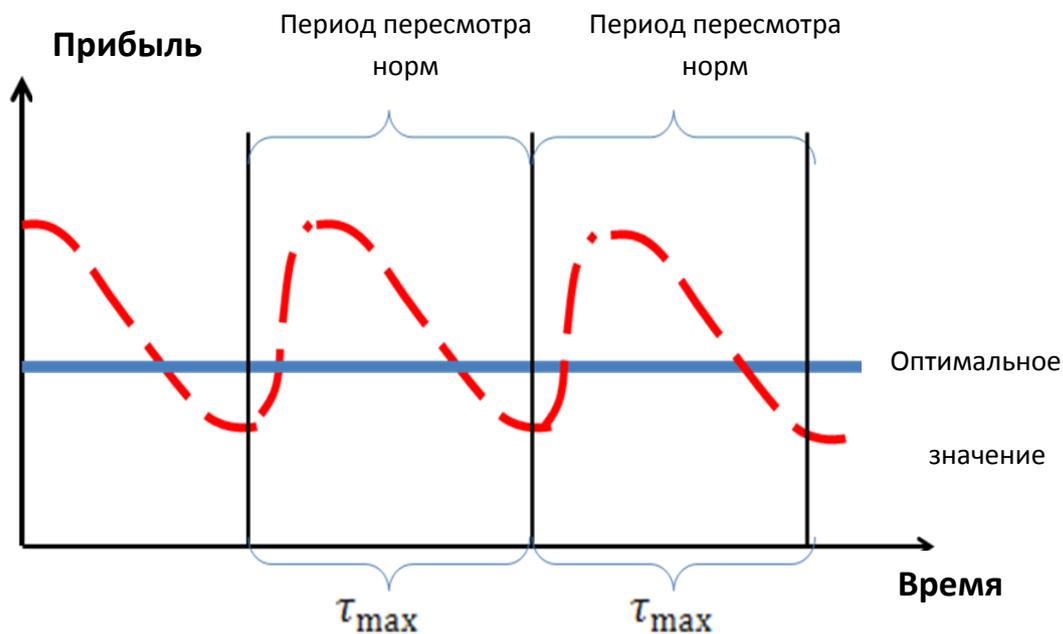


Рис.5. Колебания маржинальной прибыли производителей авиационных двигателей возле оптимального значения при введении новых экологических нормативов.

Каждый из авиадвигателей, на вторичном рынке, имеет перед продажей на рынке остаток ресурса, равный в среднем R (летных часов):

$$R = T - \tau \cdot \eta .$$

Среднегодовой объем предложения “подержанных” авиадвигателей предыдущего поколения составит (в летных часах неизрасходованного ресурса):

$$S_{\text{втор}} = \frac{N}{\tau} \cdot (T - \eta \cdot \tau) = N \cdot \left[\frac{T}{\tau} - \eta \right]$$

В дальнейшем, авиатехника предыдущего поколения должна эксплуатироваться, преимущественно, на внутренних авиалиниях стран третьего мира, полностью вытесняя там авиатехнику более старых поколений. Тогда среднегодовой объем спроса на авиадвигатели на вторичном рынке составит (в летных часах ресурса):

$$d_{\text{втор}} = N_{\text{внутр}} \cdot \eta_{\text{внутр}}$$

Необходимое условие - предложение авиадвигателей, выраженное в летных часах неиспользованного ресурса, не должно превышать спрос:

$$N_{\text{внутр}} \cdot \eta_{\text{внутр}} \geq N \cdot \left[\frac{T}{\tau} - \eta \right]$$

Следовательно, пересмотр экологических норм не будет приводить к потерям для авиакомпаний развитых стран, если он будет происходить не чаще, чем в τ_{\min} лет, где минимальный период пересмотра можно определить как:

$$\tau_{\min} = \frac{T}{\eta + \eta \cdot \left(\frac{N_{\text{внутр}}}{N} \right)}$$

В случае отсутствия вторично рынка, минимально приемлемый период ужесточения экологических норм был бы равен периоду полной выработки ресурса:

$$\tau_{min} = \frac{T}{\eta}.$$

Таким образом можно констатировать, что согласование экономических интересов зарубежных производителей авиадвигателей и авиакомпаний развитых стран мира возможно в случае:

- наличия вторичного рынка;
- рассчитанного периода ужесточения экологических норм.

В этих условиях маржинальная прибыль не будет отклоняться от средней постоянной величины и не нарушит паритет интересов сторон при согласованном и регулярном повышении экологических нормативов.

На примере авиационного двигателестроения видно, что при соблюдении определенных условий экономические и экологические интересы общества в наукоемких инновационных отраслях экономики могут не противоречить, а согласованно дополнять друг друга и служить единой цели повышения прибыли, поддержания ее на оптимальном уровне, а следовательно служить развитию рассматриваемого направления наукоемкой отрасли.

Устойчивая оптимальная прибыль

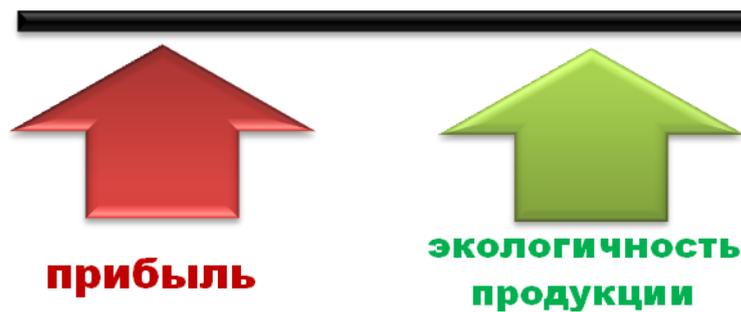


Рис.6 Согласованное воздействие ужесточения экологических нормативов и получения устойчивой постоянной прибыли

Эти условия укрупнено можно сформулировать следующим образом:

- максимальный период введения новых экологических требований должен удовлетворять условию, при котором вложения производителей авиатехники в экологическое совершенство продукции не должны превосходить прибыли от продажи удорожавшей продукции авиатехники нового поколения;
- минимальный период введения новых экологических требований должен удовлетворять условию, при котором спрос на вторичном рынке больше или равен предложению не выработавшего ресурса продукта, что позволяет компенсировать авиакомпаниям убытков от замены парка авиалайнеров.

Ужесточение экологических требований к продукции инновационных отраслей в этом случае, как ни парадоксально способствует получению прибыли. На основании полученных оценок можно сформулировать ряд рекомендаций российским авиастроительным предприятиям, НИИ, органам государственного управления. Прежде всего, следует активно продолжать НИОКР в сфере

авиационной экологии, причем, исследования должны идти в трех основных направлениях:

1) перспективные исследования, направленные на обеспечение высоких экологических показателей дозвуковых и сверхзвуковых гражданских самолетов с целью сохранения настоящих и завоевания новых позиций на международном рынке авиаперевозок с применением отечественной авиатехники («опережающие» исследования);

2) разработка технических решений, направленных на снижение шума существующего парка отечественных авиадвигателей и эмиссии вредных веществ до уровня, определяемого современными и перспективными международными стандартами («догоняющие» исследования);

3) перспективные исследования с целью разработки методологического аппарата и соответствующих ему технических средств мониторинга для осуществления комплексной оценки воздействия авиационного шума на комфорт и здоровье населения, а эмиссии вредных веществ и тепла – на изменение климата и загрязнение ОС, с целью корректного научного обоснования экологического нормирования (экологические исследования).

Необходимо особо отметить, что уровень перспективных экологических требований должен быть научно обоснованным. Следует уделять внимание контролю рассмотренных тенденций развития экологического кластера с остальными кластерами инноватики, не полагаясь только на механизмы рыночного регулирования процессов, так как обособленная концепция экономического роста

может нанести ущерб остальным потребностям и гуманистическим принципам развития общества.

Приоритеты защиты ОС и здоровья нации бесспорны, тем не менее, требуется объединить усилия в осуществлении антимонопольного контроля за тем, чтобы экологические нормы не стали орудием политических спекуляций и недобросовестной конкуренции в развитии инновационных кластеров.

Библиографическим список

1. Государственная программа Российской Федерации «Развитие авиационной промышленности на 2013-2025 годы», утвержденная Распоряжением Правительства Российской Федерации от 24 декабря 2012 года № 2509-р. - М.: Минпромторг России, 2012. - 512 с.
2. Метечко Л.Б. Экология для инженерно-экономических и технических вузов. - Саарбрюкен, Германия, Lap Lambert Academic Publishing, 2013. – 520 с.
3. Дмитриев В.Г., Мунин А.Г. Экологические проблемы гражданской авиации // Аэрокосмический курьер. 2003. № 2. С. 15-17.
4. Ключков В.В., Шустов А.В., Гусманов Т.М. Экологические нормы как фактор конкурентной борьбы на рынках авиаперевозок и авиатехники // Авиакосмическая техника и технология. 2007. № 3. С. 61-70.
5. Тихонов А.И., Мокроусова Е.И. Создание интегрированных производственных структур как основа преобразований наукоемкого производства в российском авиадвигателестроении // Электронный журнал «Труды МАИ», 2014, выпуск № 73:

<http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=48577> (дата публикации
25.03.2014).

6. Клочков В.В. Критерии конкурентоспособности продукции авиационного двигателестроения // Полет. 2005. № 12. С. 54-60.