

Локтионов А.П. , Портников В.А. , Султанов Н.З.

## СТРУКТУРА И РАЗМЕРНОСТЬ ПАРКА ВОЗДУШНЫХ СУДОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ МОДИФИКАЦИИ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Масштабное и эффективное применение воздушных судов в сельском хозяйстве для защиты растений от вредителей, болезней и сорняков ставит задачу изменения подходов и системы критериев при формировании оптимального парка сельскохозяйственных самолетов и вертолетов. Данная работа посвящена новым принципам формирования модели оптимизации парка с учетом требований целевой и экологической надежности.

Технические задания на авиационную технику, находящуюся в эксплуатации (самолеты Ан-2, Ан-2М, вертолеты Ми-2, Ка-26) и вновь создаваемую (самолет Ан-3 и вертолеты Ка-126, Ка-226) были сформулированы немногим более 15-ти лет назад. За этот период изменились: системы приоритетов, критерии оценки, уровень цен, конъюнктура рынка сельхозпродукции, структура и размерность парка воздушных судов (ВС) сельскохозяйственных модификаций, требования к авиационно-химическим работам (ужесточение экологических требований). Поэтому инновационные процессы в практике авиационно-химических работ (АХР) будем определять как суть стратегии и тактики отношений и взаимодействия производителей авиационной техники, посредников-эксплуатационников и производителей сельхозпродукции и сопутствующих услуг в условиях рынка.

Отсутствие оборотных финансовых средств у эксплуатационников (производителей) АХР и заказчиков не дают возможность создания непрерывности инновационных процессов, в том числе и учета в создании или совершенствовании технологии АХР минимизации нецелевого воздействия химикатов на окружающую среду. Поэтому введем при моделировании учет факторов, влияющих на структуру и размерность парка ВС сельскохозяйственной модификации, апробированных авторами в ряде научно-исследовательских работ.

Под структурой парка ВС будем понимать относительную совокупность в парке типов ВС: самолетов, вертолетов и мотодельтапланов и их варианторазмеров: виды модификаций и размеры внутри определенного типа.

Под размерностью парка ВС будем понимать абсолютную совокупность разных типов и варианторазмеров ВС в парке.

Выбор оптимальной структуры и размерности парка и целевой экологической специализации предполагает приведение характеризующих параметров в максимальное соответствие требованиям сельскохозяйственного производства и защиты окружающей среды. При этом многообразие видов и методов АХР и окружающая среда предъявляют к конструктивным и эксплуатационным параметрам и характеристикам ВС противоречивые требования. Например, параметр АХР “норма расхода химикатов на гектар” имеет для разных видов и методов АХР диапазон изменения 0,3...300 кг/ га, что требует несколько типов и варианторазмеров ВС в парке по технологической эффективности (целевой надежности). По экономической же эффективности целесообразен самый крупный варианторазмер сельскохозяйственного самолета (с точки зрения максимальной производительности и минимальной стоимости). По экологической эффективности (экологической надежности) целесообразным будет вариант системы со сверхлегким ВС.

Необходим совместный учет всех требований в единой целевой функции, т.е. должна быть параллельная декомпозиция задачи.

Действие факторов, влияющих на структуру и размерность парка сельскохозяйственных ВС, показано на рисунке 1.

Принцип поэтапного моделирования. Оценка эффективности авиационной специализированной системы (АСС) для проведения АХР проводится в несколько этапов в соответствии с этапами жизненного цикла (ЖЦ) системы. Но в оговоренных выше условиях применение этого подхода не приемлемо, т.к. оценка базируется на экономическом критерии “стоимость обработки одного гектара”. При применении обобщенного критерия, с учетом в целевой функции зависимости показателя эффективности от всех

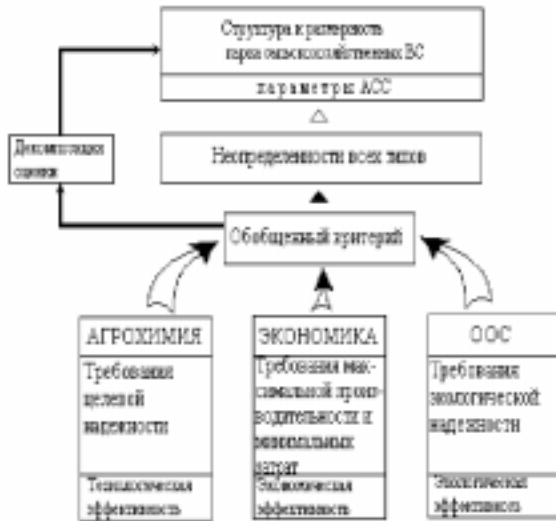


Рисунок 1 - Направления действия и учета факторов, влияющих на структуру и размерность парка сельскохозяйственных ВС: ВС – воздушное судно; АСС – авиационная специализированная система; ООС – охрана окружающей среды

требований (схема представлена на рисунке 1) возникают неопределенности, связанные с ограниченной информацией, касающейся подсистемы АХР.

Выбор структуры и размерности парка сельскохозяйственных ВС (или параметров АСС) с применением оптимизационных моделей, где используются только экономические критерии, из-за большой степени технической неопределенности не будет корректным. Необходим критерий, оценивающий степень соответствия параметров АСС основным стадиям функционирования (агрохимия, экономика, охрана окружающей среды).

С другой стороны, требуется применение развитой (и чувствительной ко многим параметрам и характеристикам АСС) технико-экономической модели, т.к. решения о приемлемом варианте АСС и применении определенной технологии АХР принимаются на уровне “эксплуатационника” по традиционным и утвержденным критериям типа “приведенные затраты”.

Становится очевидным, что необходимо разбиение всех решаемых задач исследования на последовательные этапы с различным критериальным построением на одной базе данных, т.е. последовательная декомпозиция.

Снижение размерности задачи и стратегия замены парка. Многие исследования в этой области с учетом требований ООС не находили полного решения в данной постановке, сталкиваясь с большой размерностью задачи и “теорией замен”. Предлагаемая двухэтапная декомпозиция путем выделения отдельных критериев позволила применить в исследовании:

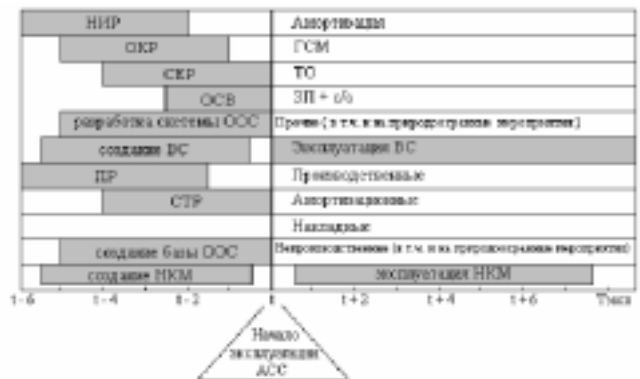
- метод релаксации большого количества технологических и экологических ограничений при производстве АХР;

- метод агрегирования, т.е. замены исходных переменных другими, обобщенными агрегатами, характеризующими состояние подсистем, при этом задача имеет меньшую размерность по сравнению с исходной.

Стратегия замен. Эксплуатация морально и технически устаревших сельскохозяйственных ВС связана с ростом производственных затрат при низкой отдаче, т.е. имеет низкую эффективность. С другой стороны, замена устаревших ВС новыми сопряжена с большими затратами, что отражается на производственной эффективности по схеме, показанной на рисунке 2.

Ситуация, которую мы имеем в Российской Федерации и странах СНГ на сегодняшний день, значительно упрощает эту проблему, т.к. существующий парк сельскохозяйственных ВС:

- состоит на 90% из однотипных самолетов Ан-2;
- ресурс давно уже выработал;
- требованиям по ООС не удовлетворяет.



и эксплуатационных расходов при проведении АХР с учетом недопущения ущерба ОС:

НИР – научно-исследовательские работы; ОСВ – освоение техники; ОКР – опытно-конструкторские разработки; ПР – проектирование; ГСМ – горючее и смазочные материалы; СТР – строительство; СКР – серийное производство; ЗП – заработная плата; ОС – окружающая среда; С/С – соэстрахование; НКМ – наземный комплекс; ТО – техобслуживание.

Следовательно, чем больше устаревших ВС подлежит замене, тем меньшее влияние на принимаемое решение оказывает сложившийся парк ВС.

Учет разновременности затрат. Выбор оптимальных параметров системы необходимо вести с учетом разновременности затрат. Как показал анализ процессов создания и эксплуатации больших технических систем, некоторые капитальные затраты, осуществляемые обычно в начале ЖЦ системы, к началу

эксплуатации частично окупаются (в основном за счет использования в смежных областях) или окупаются значительно позже по календарному времени (затраты на охрану окружающей среды). Поэтому эффективность этих инвестиций нужно определять как интегральную характеристику, охватывающую все существенные стороны, составляющие полезность достигаемого результата (экологический, экономический, технический, общенаучный, социальный и даже политический эффект) от проведенных вложений средств.

В выражении целевой функции необходимо использовать коэффициент дисконтирования ( $a_i$ ) для разных по назначению, продолжительности и осуществляемых в разное время затрат на создание авиационной системы. Значения продолжительности этапов создания ( $t_{\text{прод}}$ ), времени приведения ( $t_{\text{прив}}$ ) и коэффициента дисконтирования затрат ( $a_i$ ) для периода эксплуатации системы ( $T_{\text{экс}}$ ) приведены в таблице 1, где этап СБООС – создание базы охраны окружающей среды.

Как видно из расчетных данных, затраты на разработку системы и создание базы (РСООС и СБООС) по охране окружающей среды в АСС для проведения АХР начинают окупаться значительно позже, после 5...9 лет эксплуатации системы, и после этого периода опережают по реновации капвложений материальную часть и весь НКМ.

**Таблица 1 - Значения коэффициента ( $a_i$ ) для всего периода эксплуатации системы**

Этап	tпрод	tприв	Tэкс									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
НИОКР	6	5	0,78	0,76	0,74	0,71	0,68	0,65	0,61	0,57	0,53	0,48
СЕР	4	6	0,82	0,80	0,78	0,76	0,74	0,71	0,68	0,65	0,61	0,57
ОСВ	2	2	0,45	0,39	0,32	0,27	0,20	0,11	0,02	0,02	0,02	0,02
РСООС	5	4	0,81	0,80	0,79	0,77	0,74	0,70	0,64	0,58	0,50	0,40
ПР	6	5	0,78	0,76	0,74	0,71	0,68	0,65	0,61	0,57	0,53	0,48
СТР	4	6	0,82	0,80	0,78	0,76	0,74	0,71	0,68	0,65	0,61	0,57
СБООС	5	4	0,81	0,80	0,79	0,77	0,74	0,70	0,64	0,58	0,50	0,40

Здесь: СЕР – серийное производство; ОСВ – освоение новой техники; РСООС – разработка системы по охране окружающей среды; ПР – проектирование; СТР – строительство наземного комплекса; СБООС – создание базы охраны окружающей среды.

Детальность учета затрат. Как показал анализ предыдущего опыта создания и эксплуатации авиационных систем, работа которых связана с влиянием и взаимодействием с экосистемой, необходим детальный учет всех без исключения затрат. Особенно тщательно и детально необходимо учесть в модели косвенные эксплуатационные расходы (доля которых из года в год возрастает), затраты на НИОКР и НКМ (учитывая масштабность задачи и территорий), затраты на разработку системы охраны окружающей среды (РСО-

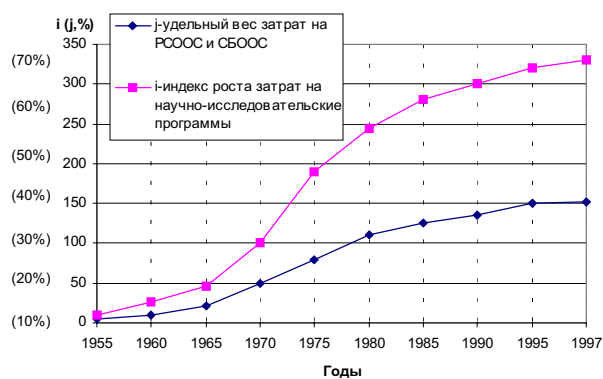
ОС) при проведении АХР и создание базы охраны окружающей среды (СБООС) при наземном обслуживающем комплексе, доводку опытных образцов сельскохозяйственной аппаратуры вплоть до проведения испытаний по экологической надежности.

Все перечисленные затраты и текущие расходы определяем только на базе отчетно-статистических данных с учетом параметрической корреляции, применяя методы аналогов, удельных весов и экспертных оценок.

Учет процессов жизненного цикла системы, их продолжительности и степени влияния на экологическую надежность. В последнее время наблюдается абсолютное и относительное (к стоимости АСС) увеличение затрат на НИОКР, включая и разработку РСООС и создание СБООС. Например, в США за период с 1955...95 годы эти затраты выросли в 300...350 раз, а их удельный вес увеличился с 0,82% до 24 %, что продемонстрировано на рисунке 3.

Для технико-экономической модели используем эмпирические методы определения затрат на НИОКР, РСООС и СБООС, т.к. модель реализуется для сравнения вариантов системы, а не для определения плановых затрат.

Учет влияния условий эксплуатации отразим введением факторных коэффициентов перехода от М1 (среднестатистические условия эксплуатации средней полосы) к М2 (местность холмистая, с реками, озерами, болотами и суровыми условиями, сильный ветер и запыленность).



**Рисунок 3 - Динамика стоимости НИОКР и разработок по охране окружающей среды**

Специфика задач исследования требует определения сравнительной эффективности применения разных типов ВС, т.е. их конкурентоспособности. Схематично влияние требований ООС на эффективность проведения АХР показано на рисунке 4.



Рисунок 4 - Схема влияния требований ООС на эффективность авиационно-химических работ

Влияние требований ООС при проведении АХР через области предпочтительного применения по критерию экологической надежности аналитически отражено в уравнениях, определяющих целевую функцию.

Номенклатура и объем АХР определяют выборку по соответствию экологической специализации ВС и АХР в областях предпочтительного применения.

Каждый тип ВС должен проводить АХР:

- с учетом экологических требований с минимальным нецелевым воздействием на окружающую среду;
- в областях предпочтительного применения по экологической надежности;
- в определенные календарные сроки и необходимом количестве в соответствии с графиком;
- обеспечивать безопасность труда и обслуживания.

Поэтому введем учет в модели блок проверки этих требований:

- если наземное средство (НС) выполняет лишь часть проводимых ВС операций, то за эталон принимаются два или несколько НС;
- если ВС по экологической надежности не соответствует НС, то учитываются дополнительные затраты на достижение этого соответствия;
- если конечный результат работы ВС отличается от результатов работы НС, то включаем в модель дополнительные затраты по доведению работы до сравнительных результатов.

Учет ряда отрицательных последствий целевого воздействия АХР. Необоснованное применение АХР для внесения минеральных удобрений и химических средств защиты растений от болезней, вредителей и сорняков наряду с полезным эффектом влечет за собой и ряд отрицательных последствий. Они связаны с накоплением в почве, выносу их

в больших количествах в водоемы, где они усваиваются растениями, попадают в пищу рыбам и другим речным обитателям. Кроме того, повышенные дозы азота приводят к избыточному накоплению химикатов в кормах и отрицательно сказываются на продуктивности животных. Увеличение кислотности почвы снижает эффективность минеральных удобрений и химических средств, что вызывает необходимость дополнительных затрат на устранение кислотности. Ряд отрицательных последствий показан на рисунке 5.



Рисунок 5 - Ряд отрицательных последствий применения АХР

Остаточное действие некоторых химических средств создает отрицательное воздействие на физико-химические процессы в почве и жизнедеятельность микроорганизмов. Некоторые из них, накапливаясь в значительных количествах, принимают участие в биологических процессах в почве и физиологических процессах в растениях. Именно на этой основе запрещено применение при АХР таких сильнодействующих химических средств борьбы с вредителями растений как ДДТ, гексахлоран. Степень распространности приведена в таблице 2.

Обладая высокой биологической активностью, некоторые пестициды способны сохраняться в биосфере, циркулировать в ней длительное время, переходя из одной среды в другую. Попадая в глубокие слои почвы, пестициды и минеральные удобрения загрязняют грунтовые воды, и, поступая через корневую систему и накапливаясь в растениях, аккумулируются в организме человека и животных.

Исследования показали, что чем больше частота обработки почвы ядохимикатами, тем большая вероятность накопления в ней препаратов, а следовательно, и опасности загрязнения окружающей среды. Миграция пестицидов и минеральных удобрений в глубокие слои почвы быстрее протекает в песке и медленнее в богатых гумусом почвах. Это видно по данным таблицы 2.

**Таблица 2 - Классификация пестицидов по характеру передвижения по профилю почвы (личинг)**

Классы (шесть химических классов)	Коэффициент относительной подвижности КОП	Класс подвижности в почве (эталон – мунитрон и атразин - умеренно подвижные)	Новые пестициды в классе	Степень распространенности
триазины	< 0,15	I неподвижные	гезагард	•
производные мочевины	0,15...0,18	II малоподвижные	которан	•
Хлорацетанилиды	0,8...1,3	III умеренно подвижные	дуал, телл, логран	••
оксимовые эфиры	1,3...2,5	IV более подвижные	—	
дитиофосфаты и производные	2,5...5,0	V подвижные	топик	••
Сульфонилмочевины	> 5,0	VI сильноподвижные	дикуран форте, сатис, трезор	•••

Авиационное внесение препаратов загрязняет и атмосферу, т.к. потоком воздуха они переносятся на значительное расстояние и длительное время сохраняются в атмосфере.

Установлено, что длительное применение симазина приводит к снижению общей биогенности почв и изменению соотношений между отдельными группами микроорганизмов, но усиливает нитрифицирующую и аммонифицирующую способность почвы.

Нельзя не учитывать и тот вред, который авиационные химические средства борьбы с вредителями оказывают животному миру. Поедая пораженные химическими веществами личинки и насекомых, многие птицы накапливают в своем организме избыток химикатов, вредно влияющих на их жизнеспособность.

При интенсификации сельскохозяйственного производства безвозвратно отчуждается из почвы огромная масса химических элементов, т.е. нарушается природное естественное равновесие, а АХР стабилизирует этот процесс в сочетании применения доз концентрированных минеральных удобрений и это также необходимо учесть в модели.

**Классифицируем по уровням значимости комплекс решаемых задач.** Полученное “дерево целей” исследования схематично показано на рисунке 6.

Задачу эффективного применения оптимального парка решаем совместной параметрической оптимизацией технологий и парка машин с учетом экологической надежности основных функций, для чего создаем и реализуем технико-экономическую модель (ТЭМ). Построение параметрических условий конкурентоспособности проводим в выделенных областях предпочтительного применения (ОПП) с учетом комплексного показателя целевой надежности, в который входит и показатель экологической надежности.

Это предполагает наличие как минимум двух этапов с разным критериальным построением. Проведение этой части работы было бы невозможно без создания банков данных по ВС и НКМ, АХР и объектам воздействия (ОВ), средствам воздействия и ОС, что показано на рисунке 6.

- Параллельно накладываем ограничения:
- по возможностям ВС;
  - по регламенту и нормам проведения АХР;
  - по экологическим требованиям.

Для обеспечения адекватного подхода к оценке эффективности инновационных решений и исходя из того, что организация последних требует небольших дополнительных ресурсов, а также исключения колебаний спроса и предложения (субъективный фактор) из-за влияния информации, в расчетах используется единый нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений  $E_n = 0,15$ . Решение о целесообразности применения инноваций принимается на основе расчета экономического эффекта, определяемого на годовой объем производства в расчетном году. За расчетный год принимается первый год после окончания освоения инноваций.

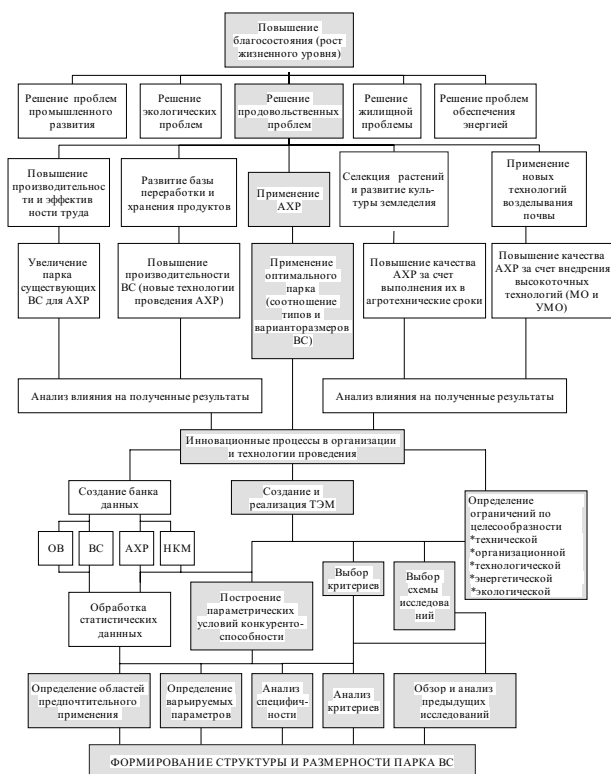


Рисунок 6 - “Дерево целей” исследования авиационной специализированной системы для проведения сельскохозяйственных авиационно-химических работ

Для полного отражения эффективности исследования производим по всем годам планируемого периода эксплуатации, т.е. на всем протяжении жизненного цикла.

$$\mathcal{E} = \sum_{t=1}^{n=T_{\text{эксп}}} \mathcal{E}_t,$$

где  $\mathcal{E}_t$  - соответствующий годовой эффект  $t$ -го года эксплуатации;  
 $T$  - продолжительность эксплуатации.

Аналогичный критерий в зарубежных исследованиях называется “стоимость жизненного цикла”.

Обеспечена сопоставимость вариантов с экологической надежностью и базового по: объему производимой работы; качественным параметрам; факторам времени; социальным, экологическим и экономическим факторам.

При разработке методики и постановке функциональных ограничений использованы принятые законы, постановления Правительства, Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации по совершенствованию хозяйственного механизма охраны окружающей среды и рационального природопользования за последние годы.

Таким образом:

1. Концепция разработанной модели исследования предусматривает:

- построение технико-экономической модели и ее математическую формализацию в соответствии с определенным этапом жизненного цикла системы;
- учет в критериях нецелевого функцио-

нального воздействия АХР на изменение среды обитания;

- детальность учета затрат;
- снижение размерности задачи и стратегию замены парка;
- учет экономического ущерба от нецелевого (неточного) внесения химикатов;
- учет ряда отрицательных последствий целевого воздействия АХР;
- декомпозицию.

2. Предложен, разработан и применен комплекс функциональных, структурных, операционных и параметрических моделей, принципов согласования иерархии критериев в решении задач с декомпозицией.

3. Разделение на этапы диктуется наличием ограниченного объема данных о взаимосвязи и взаимовлиянии подсистем. Двухуровневая критериальная оценка авиационной системы позволяет проанализировать большее число вариантов сочетаний характеризующих параметров подсистем с использованием апробированных методов исследования.

4. Авиационная специализированная система (АСС) для выполнения АХР в зонах экологической надежности при оптимальной структуре и размерности парка ВС будет создавать прибыль в хозяйствах (по условиям функционирования), имеет аналог по условиям создания. Инвестиции по охране окружающей среды не будут связаны с потерями в других областях (по условиям финансирования), выпуск ВС и создание всего комплекса обеспечены существующими производительными мощностями отечественной промышленности.

Статья поступила в редакцию 23.09.99г.