

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

А.Д. Припадчев, А.А. Горбунов

АВИАЦИОННЫЕ РАБОТЫ ПО ВНЕСЕНИЮ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Монография

Рекомендовано ученым советом федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Оренбург
2018

УДК 629.73:631.3
ББК 39.5+40.7
П76

Рецензент — доцент, кандидат технических наук Р.Б. Алтынбаев

П76 **Припадчев, А.Д.**
Авиационные работы по внесению химических веществ на основе
информационных технологий : монография / А.Д. Припадчев, А.А.
Горбунов; Оренбургский гос. ун-т. - Оренбург : ОГУ, 2018.
ISBN

В монографии рассмотрены вопросы по внесению химических веществ на основе выбора рационального типа сельскохозяйственного летательного аппарата и разработки операционной технологии с учетом компонентов содействия и противодействия (летная операция).

Монография предназначена для обучающихся по образовательной программе высшего образования по направлению подготовки 24.04.04 Авиационное строительство

УДК 629.73:631.3
ББК 39.5+40.7

ISBN

© Припадчев А.Д., Горбунов А.А., 2018
© ОГУ, 2018

Содержание

Введение	5
1 Состояние вопроса по авиационному внесению химических веществ	8
1.1 Анализ современного состояния и тенденции развития внесения химических веществ для сельскохозяйственных культур.....	8
1.2 Анализ определяющих факторов по авиационному внесению химических веществ	20
2 Модель функционирования операционной технологии авиационного внесения химических веществ при возделывании сельскохозяйственных культур.....	51
2.1 Методика моделирования предметной области.....	51
2.2 Математическое моделирование авиационного внесения химических веществ при возделывании сельскохозяйственных культур	54
2.2.1 Приближенное моделирование функциональных зависимостей летной операции	54
2.2.2 Метод выбора рационального типа СЛА при авиационном внесении химических веществ на базе закономерностей влияния летно–технических и технико–экономических характеристик	57
2.2.3 Построение системы ограничений–неравенств и целевой функции на примере Адамовского района Оренбургской области	78
2.2.4 Разработка технического способа построения программного обеспечения, основанного на формализованном описании операционной технологии внесения химических веществ	80
2.2.4.1 Применение реляционной алгебры при обработке информации баз данных операционной технологии при авиационном внесении химических веществ	86
2.2.4.2 Программная реализация операционной технологии при авиационном внесении химических веществ.....	87
3 Методика проведения экспериментальных исследований	97

3.1 Экспериментальные исследования.....	97
3.2 Результаты экспериментальных испытаний.....	102
4 Оценка технико-экономического обоснования целесообразности авиационного внесения химических веществ для сельскохозяйственных культур.....	111
4.1 Экономический анализ как основа оценки экономической целесообразности	111
4.2 Эффективность авиационного внесения химических веществ для сельскохозяйственных культур.....	114
4.3 Сравнительная оценка экономической целесообразности применения сельскохозяйственного летательного аппарата при авиационном внесении химических веществ.....	118
Заключение.....	127
Список использованных источников	128

Введение

Кризисные явления развития экономики в современных условиях привели к недостаточности объемов аграрного производства. В результате снизился уровень продовольственной, а, следовательно, и экономической безопасности страны. Проводимая аграрная реформа негативно отразилась на результативности возделывания сельскохозяйственных культур. Эффективное возделывание возможно при внедрении интенсивных технологий, которые предполагают использование высокопроизводительных машин, обеспечивающих соблюдение всех агротехнических требований при выполнении основных операционных технологий. Среди них внесение химических веществ (борьба с особо опасными вредителями и сорняками, предотвращение появления болезней, поздние и ранневесенние подкормки, десикации высокостебельных растений и т.д.) — одна из операций, качественное выполнение которой позволяет повысить урожайность сельскохозяйственных культур в несколько раз. Поэтому работы по совершенствованию способов внесения химических веществ с использованием различных видов технических средств постоянно актуальны. Основным техническим средством внесения химических веществ является наземный транспорт. Однако, замедленное развитие сельского хозяйства, характерное для первых десятилетий XXI века, привело к значительному моральному устареванию и физической изношенности, а, следовательно, и к сокращению машинотракторного парка сельхозпроизводителей. В данных условиях отмечать успехи в рациональном возделывании и защите сельскохозяйственных культур с применением только наземного транспорта некорректно. Целесообразно и экономически оправдано использование в отрасли летательных аппаратов (ЛА).

В сложившейся ситуации особое место занимают авиационные работы по внесению химических веществ для повышения качества и урожайности возделываемых сельскохозяйственных культур. Спецификой таких работ

является межотраслевой характер их планирования, организации и выполнения, наличие сложных системных взаимосвязей между показателями ЛА, наземной структурой обеспечения работ и посевной площади.

Поэтому работа посвящена актуальному и практически значимому для сельскохозяйственного производства вопросу — внесение химических веществ на основе выбора рационального типа сельскохозяйственного летательного аппарата (СЛА) и разработки операционной технологии с учетом компонентов содействия и противодействия (летная операция).

Анализ степени изученности вопроса показал, что теоретическое обоснование повышения эффективности возделывания сельскохозяйственных культур с применением химических веществ сформулированы и получили свое дальнейшее развитие в работах Запевалова М.Н., Панникова В.Д., Минеева В.Г., Щербакова А.П., Сычева В.Г. В работах В.А. Назарова, М.А. Финикова, В.Б. Козловского, В.П. Асовского, С.А. Паршенцева, В.В. Ефимова, О.В. Худоленко и ряда других было показано, что авиационные работы (АР) являются специфическим видом деятельности, ориентированным на требования потребителей и во многом отличающимся от воздушных перевозок, что требует разработки и использования, наряду с общими подходами, специальных технических способов построения и средств решения задач в области АР с комплексным учетом их целей, эффективности и особенностей производства. Основные работы по оборудованию и технологии авиационного внесения химических веществ (Н.З. Султанов, В.М. Шумилин, М.О. Гумба, Д.Г. Скалов, В.Г. Гусев, А.Г. Судаков, Э.П. Давыденко, Н.В. Вагапова и др.) посвящены выбору показателей отдельных видов технических средств (ТС) и отработке технологических режимов их применения с учетом особенностей АР. Теоретические вопросы авиационного внесения химических веществ исследовались Ю.Г. Логачевым, В.С. Деревянко, А.И. Свининым, которые для ряда допущений использовали уравнения динамики движения изолированных частиц рабочего вещества (РВ) правильной и постоянной формы (материальной точки) и априорно заданные П-образные схемы вихревого следа самолетов и

вертолетов, и впоследствии Б.Л. Артамоновым, А.Б. Евдокимовым, В.В. Дудник, Р.Б. Алтынбаевым и другими специалистами, применявшими в этих задачах расчетные процедуры описания дальнего следа таких ЛА на базе концевых вихрей их несущих систем (крыло, несущий винт) и органов управления, а также отдельных эффектов движения частиц.

До настоящего времени практически не исследованы вопросы структурно-функционального и аналитического описания ТС для авиационного внесения химических веществ, формирования требований к ним и рекомендаций по выбору типа, состава и показателей оборудования для разных ЛА, и работ, а также обоснования качественных показателей и технологических режимов проведения АР заданным ЛА с соответствующим ТС в различных условиях.

1 Состояние вопроса по авиационному внесению химических веществ

1.1 Анализ современного состояния и тенденции развития внесения химических веществ для сельскохозяйственных культур

Развитие сельского хозяйства, а в частности продуктивность земледелия, на современном этапе находится в прямой зависимости от прогрессивных технологий. Применение высокоточных технологий производственных процессов гарантирует увеличение производительности и интенсификацию производственных процессов, а, следовательно, снижают себестоимость и повышают конкурентоспособность сельхозпродукции. В мировой практике к высокоточным технологиям относится и применение авиационного способа внесения химических веществ на возделываемые сельскохозяйственные культуры, которые проводятся СЛА. Авиационный способ внесения химических веществ считается щадящим, бережным отношением к растениям, т.к. не повреждает стебли и корни растений, не оставляет после себя технологическую колею. Без использования средств химизации и борьбы с заболеваниями сельскохозяйственных растений невозможно получить экономически оправданный урожай. Общая тенденция химизации и борьбы с заболеваниями идет не по пути сокращения и запрещения, а дальнейшего развития на основе разумного и рационального применения.

По объему и разнообразию производимых АР Оренбургская область включена в ряд самых крупных — Приволжское управление.

Проведенный анализ потребности в АР по Оренбургской области показал, что, несмотря на сложные экономические условия, работы производятся наряду с наземными средствами в соотношении от 20 % до 94 %.

Российская Федерация располагает значительными земельными ресурсами, в том числе 13 % — земли сельскохозяйственного назначения, рисунок 1.1.

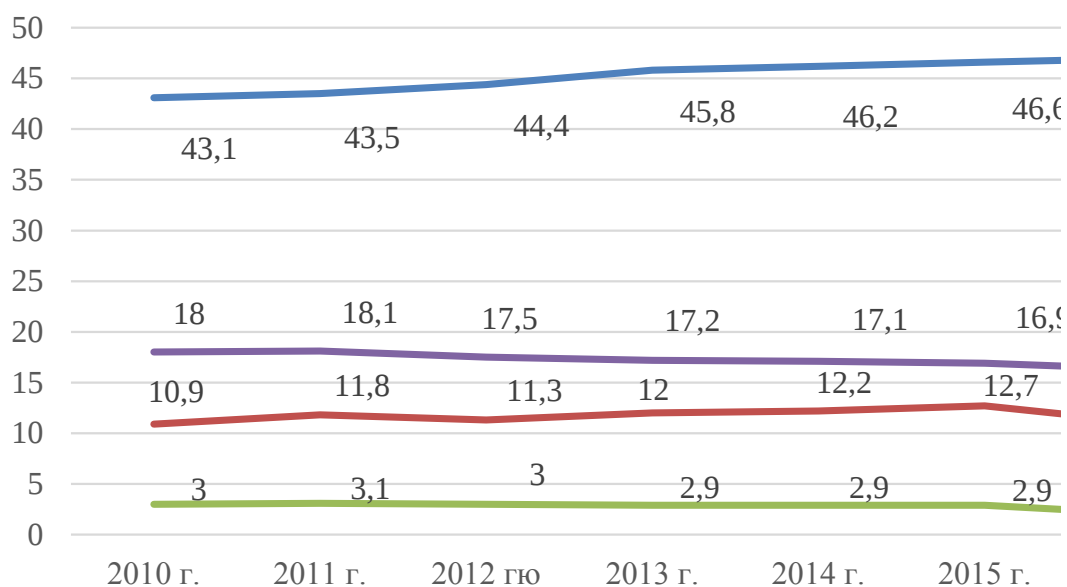


Рисунок 1.1 — Категории посевных площадей Российской Федерации, млн. га

Общая площадь земель, используемых для производства сельскохозяйственной продукции в 2016 году, составляет 79,9 млн. га, что почти на 6,4% выше уровня 2010 года. За анализируемый период отмечается рост посевных площадей и объема выпуска сельскохозяйственной продукции, который в 2016 году составил 119,1 млн. т. зерновых и зернобобовых культур в весе после доработки (с учетом Крымского ФО). В сравнении с 2010 г. рост производства зерна составил 95,2 % (58,1 млн. т.) при урожайности 26,0 ц/га (21,1 ц/га в 2010 г.).

Динамика изменения категорий посевных площадей в Оренбургской области представлена на рисунке 1.2.

Фактически потребность Оренбургской области по обработке посевов сельскохозяйственных культур гербицидами и десикантами составляет на сегодняшний день от 500 до 750 тыс. гектаров, из которых более 50 % должны производиться авиационной техникой.

Сравнительный объем работ по борьбе с вредителями и болезнями сельскохозяйственных культур в хозяйствах Оренбургской области показал наличие таких видов работ, которые могли бы быть произведены при наличии достаточного количества авиационной техники, начиная с 1992 года.

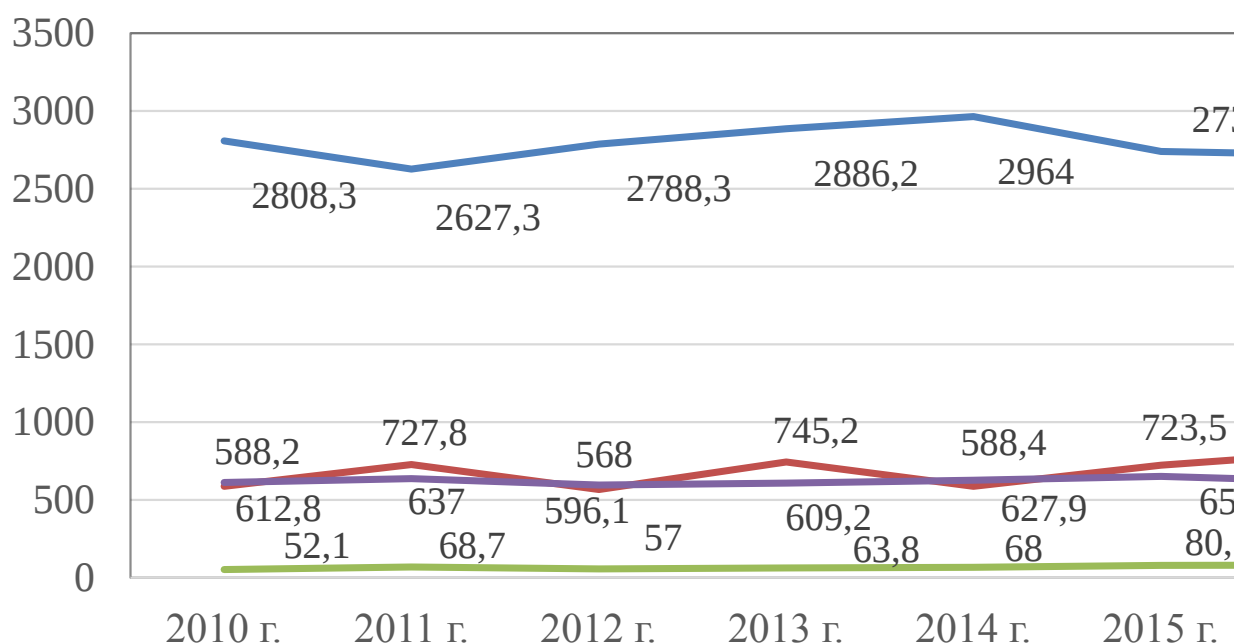


Рисунок 1.2 — Категории посевных площадей Оренбургской области, тыс. га.

С введением в земледелие больших поливных площадей в районах Поволжья и Урала, возрастает роль авиационной подкормки сельскохозяйственных культур во время всего периода вегетации. В засушливых зонах Поволжья и Южного Урала для неполивного возделывания зерновых культур перспективной является:

- авиапрополка — обработка озимых гербицидами общего действия от многолетних сорняков и падалицы, которая производится ультрамалообъемным способом опрыскивания с расходом жидкости от 3 до 10 л/га, это позволяет выполнить работы в сжатые агротехнические сроки и сокращается количество механических обработок, за счет чего лучше сохраняется структура почвы и ее водный режим [30];

- стимуляция роста — внесенные вовремя компоненты способствуют росту производительности полей, улучшению качества урожаев, в период размножения они хорошо укоренят растения, а перед уборкой уменьшат опадение;

- десикация кукурузы (подсолнечника) — обеспечивает снижение влажности вегетативных органов до значений, препятствующих перераспределению влаги между зерном и другими компонентами

несепарированного вороха. Это позволяет предотвратить сорбцию зерном от 3,1 % до 3,6 % влаги в послеуборочный период;

- защита от заболеваний — от появления всходов до самого созревания урожая. Оперативные действия помогают глубоко укоренить рассаду, ускорить созревание плодов, оздоровить растения.

В Российской Федерации наибольшие объемы по авиационному внесению химических веществ СЛА были выполнены в 1985 году — 61 млн. га, рисунке 1.3.

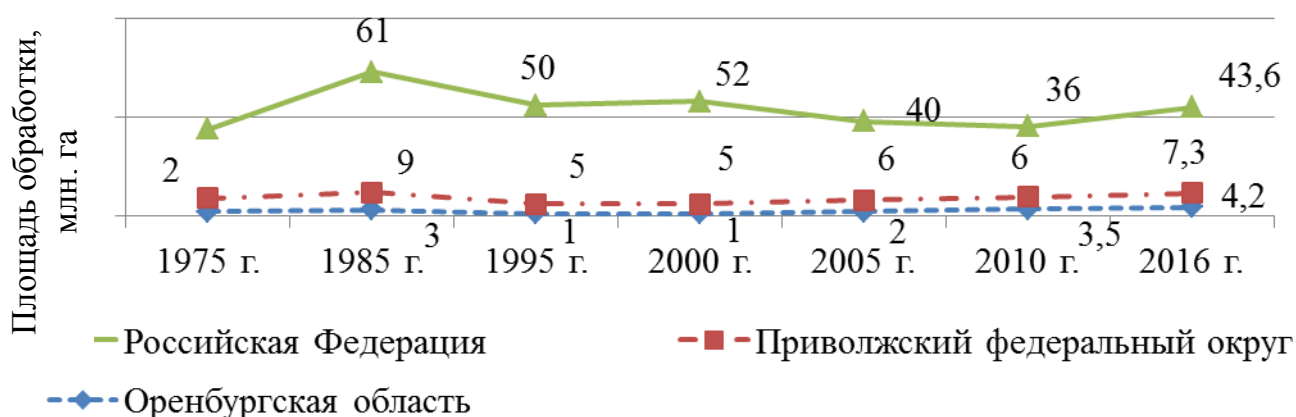


Рисунок 1.3 — Изменения объемов по авиационному внесению химических веществ

На основании проведенного анализа наблюдается с 1986 года сокращение объемов по авиационному внесению химических веществ, сохраняя при этом сложившееся соотношение, представлено на рисунке 1.4.

Главным образом, это объясняется экономическим кризисом, который охватил практически все отрасли, в том числе авиацию и сельское хозяйство:

- из-за проблем топливного обеспечения авиапредприятий, ремонта, снабжения и обслуживания заказы сельского хозяйства по внесению химических веществ выполняются не в полном объеме;

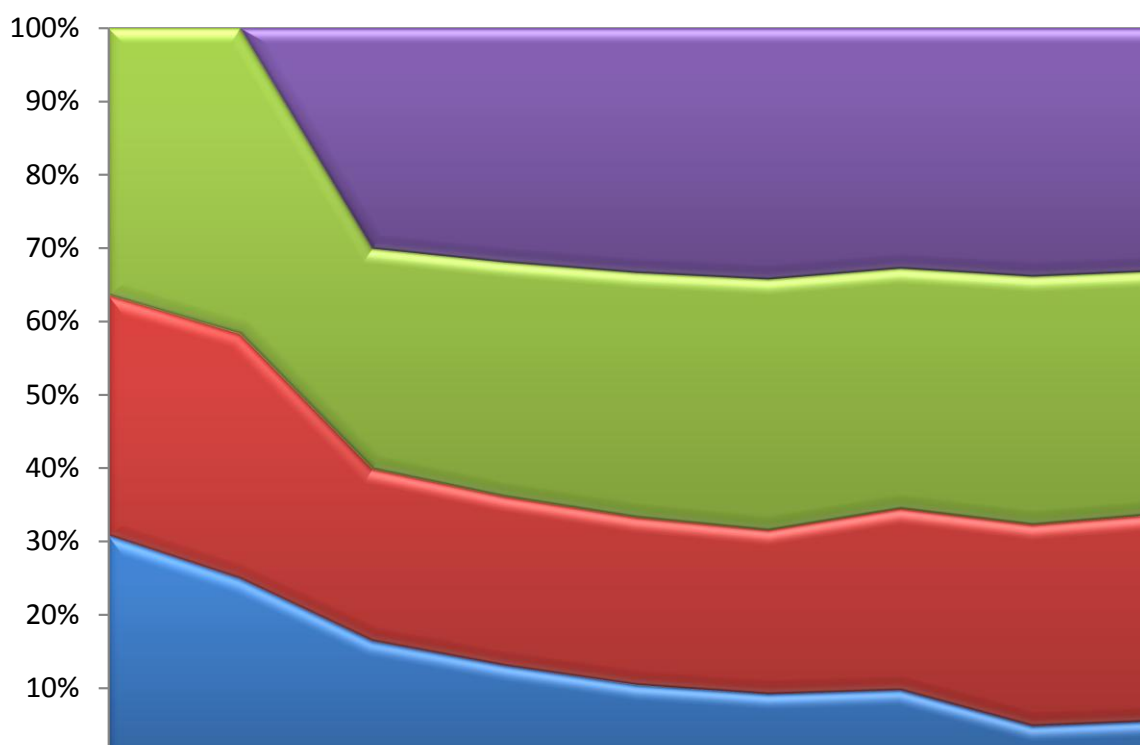


Рисунок 1.4 — Соотношение основных видов по авиационному внесению химических веществ

- неплатежеспособность сельскохозяйственных предприятий не позволяет иметь оборотные средства при сложившейся системе кредитования АР.

Инновационные процессы в обществе также повлияли на объемы внесения химических веществ. В Российской Федерации следует особо выделить такие факторы, как:

- повышение общей культуры земледелия, совершенствование агротехнических приемов борьбы с сорняками;
- внедрение новых технологий и средств механизации защиты растений с применением биофизических методов и почвозащитной системы земледелия;
- переход хозяйств на систему арендных, подрядных и частных отношений;
- инвентаризация сельхозугодий на пригодность полей к авиационной обработке с учетом экологических требований;
- ужесточение самих экологических требований в связи с перенасыщением пахотных земель ядохимикатами и минеральными

удобрениями;

- повышенное внимание общественности к экологическим последствиям по авиационному внесению химических веществ;

- увеличение числа зон для выращивания экологически чистой продукции.

К числу нерешенных проблем, влияющих на объемы внесения химических веществ в Российской Федерации, также можно отнести:

- неудовлетворительное качество внесения химикатов, что наносит экологический вред окружающей среде в результате сноса химикатов за пределы обрабатываемого участка;

- отсутствие в эксплуатации современной авиационной техники и сельскохозяйственного оборудования для высокоточного внесения химических веществ.

Определенный интерес представляет эволюция методов проведения АР по внесению химических веществ, приведенная в таблице 1.1. Данные получены по результатам множественного корреляционного анализа зарубежных и отечественных статистических данных.

Таблица 1.1 — Тенденции изменения методов по авиационному внесению химических веществ

Методы	Индекс (шифр)	Относительный объем, %		Эффективный тип СЛА	Морфологическая избирательность
		Современность	Перспектива		
1 Опрыскивание	00-1	40	50	В	0,4
2 Опыление	00-2	2	1	С	0
3 Рассев	00-3	40	3	С	0,2
4 Разбрасывание	00-4	12	4	С	0,3
5 МО	00-5	4	21	В	0,85
6 УМО	00-6	2	21	В, МДП	0,95
С – самолет; В – вертолет; МДП – мотодельтаплан					

Тенденции изменения методов следующие:

- доля авиаопыления (где СЛА обладали большой производительностью) заметно снижается, вплоть до полного исключения этого метода из практики ввиду сильного загрязнения окружающей среды вносимыми веществами даже при ветре меньше от 1,2 до 1,5 м/с;

- доля разбрасывания приманок, обладающих малой избирательностью к животному миру (где СЛА был вне конкуренции), резко снижается от 3 % до 4 % и в перспективе применение этого вида будет носить эпизодический и территориально ограниченный характер;

- внесение минеральных удобрений (30 % объема АР) проводится методом рассева (традиционная сфера СЛА) и авиаопрыскивания при ужесточении экологических ограничений;

- особое место занимает применение жидких сложных минеральных удобрений большой плотности, дорогих и широко применяемых за рубежом, и отказ от применения гранулированных: именно здесь СЛА наиболее полно реализуют свои преимущества по качеству распыла и целевому внесению;

- резкий рост малообъемного (МО) и ультрамалообъемного (УМО) опрыскивания, где СЛА и малоразмерные ЛА (мотодельтапланы, БПЛА) предстают как единственные средства высокоточной технологии внесения.

Все большее внимание заслуживает такой вид работ, как внекорневая авиаподкормка озимой и яровой пшеницы, посевов гороха, от которой, наряду с прибавкой в урожае, значительно улучшается качество зерна, особенно сильных пшеницы, за счет увеличения содержания в нем клейковины от 4 % до 6 %.

Возрастает роль проводимой авиацией внекорневой подкормки кукурузы, возделываемой на силос. Такая подкормка увеличивает содержание протеина, чего недостает для кормовой полноценности зеленой массы данной культуры.

При очевидной дороговизне услуг авиапредприятия, в сравнении с наземными способами обработки, авиационное внесение химических веществ имеет ряд преимуществ. Первое из них — сверхлегкие СЛА работают от 10 до 12 раз производительнее (реально достигаемая дневная производительность СЛА при внесении химических веществ — от 500 до 1000 га). Благодаря высокой производительности малая авиация позволяет в сжатые агротехнические сроки контролировать численность вредителей, предотвращать появление болезней, бороться с сорняками. Авиация остается

незаменимой в борьбе с особо опасными вредителями — саранчой и луговым мотыльком, когда требуется быстрая обработка огромных площадей. Малая авиация повышает качество урожая с помощью поздних подкормок, не повреждая растения. Она эффективна на десикации высокостебельных растений, например подсолнечника. СЛА делают свою работу даже тогда, когда наземная техника не может выйти в поле из-за высокой влажности почвы.

В результате сельхозпредприятия благодаря авиационному внесению химических веществ могут добиться повышения урожайности от 15 % до 35 % и более, одновременно улучшив качество сельскохозяйственных культур.

Кроме всего прочего, результаты научных исследований, практические оценки подтверждают возможность снижения норм применения химических средств при авиационном внесении. Достигается снижение с помощью ультрамалообъемной технологии внесения препаратов, применяемой на сверхлегких СЛА. Эта технология обеспечивает уменьшенными дозами заданную высокую биологическую эффективность обработки, что позволяет экономить до половины средств на дорогие средства защиты растений.

Обработка поля при помощи авиации осуществляется без вылета за пределы поля, ограниченного лесопосадками, с проходом на такой высоте, при которой химическое вещество попадает на сорные растения не только сверху листа, но и снизу благодаря мощному турбулентному потоку за толкающим винтом СЛА.

Важным для хозяйств является то обстоятельство, что СЛА не требует специальных площадок, он может работать на небольших полях или участках грунтовых дорог размером 50 x 100 м. Не требуется специальной загрузочной площадки для средств заправки химическими веществами. Контроль качества по авиационному внесению химических веществ осуществляется заказчиком непосредственно на обработанной площади, где изменения заметны визуально практически через три часа после обработки.

Во Франции ежегодно только при помощи сверхлегкой авиации обрабатывается более 500 тыс. га сельскохозяйственных угодий. В США

ежегодно около 8 тысяч сверхлегких СЛА обрабатывают до 100 млн. гектаров. В результате авиационного внесения химических веществ американские фермеры отмечают рост урожайности возделываемых сельскохозяйственных культур от 10 % до 15 % благодаря отсутствию технологической колеи и более качественной обработке посевов.

В таблице 1.2 представлены основные плюсы и минусы по авиационному внесению химических веществ.

Таблица 1.2 — Достоинства и недостатки авиационного внесения химических веществ

Плюс	Минус
Высокая скорость обработки	Высокая стоимость работ
Отсутствие потерь из-за повреждения посевов колесами техники	Возможный снос препаратов на соседние посевы
Отсутствие технологической колеи	Запрет на применение некоторых пестицидов с помощью авиации
Возможность внесения химических веществ в ранневесенний период и на поздних фазах развития растения	Зависимость от метеоусловий

Экологические требования к авиационному внесению химических веществ из года в год ожесточаются и соответственно, появляется необходимость применения более точных операционных технологических приемов внесения химических веществ, что предполагает более широкое использование для этих целей более маневренных СЛА, с широким диапазоном скоростей: сельскохозяйственных вертолетов (СХВ) и мотодельтапланов (МДП). Именно этим объясняется зарубежная тенденция увеличения применения СХВ и МДП. Многие страны Европы отказываются от применения АХР без соответствующей системы автоматики, обеспечивающих экологическую надежность.

Кроме того, среди всей номенклатуры видов внесения химических веществ есть виды, доля которых растет, специфичные только для применения СХВ и МДП:

- борьба с сорняками на небольших участках посевов зерновых культур;
- борьба с вредителями и болезнями плодовых и ягодных насаждений,

виноградной лозы;

- подкормка риса;

- и другие работы в холмистых, предгорных районах, в поймах рек и местностях со сложным рельефом.

Экологическая и экономическая потребность в авиационном внесении химических веществ с применением СЛА по Оренбургской области составляет от 250 до 375 тыс. гектаров (без учета форс-мажорных видов: борьба с саранчой и луговым мотыльком). С учетом нового рынка (борьба с колорадским жуком и фитофторой) на полях индивидуальных хозяйств потребность в авиационном внесении химических веществ возрастает от 550 до 700 тыс. гектаров.

Однако у авиации появилась достойная высокоскоростная наземная альтернатива. Например, самоходный ультрамалообъемный опрыскиватель «Туман» («Туман-2»), главное его преимущество:

- возможность круглосуточной работы и простоту управления.

Справиться с машиной может любой водитель после небольшого обучения. Но, например, десикация подсолнечника возможна только с воздуха;

- «Туман» стоит 715000 р. (на декабрь 2016 г.) — хозяйства вполне могут позволить себе купить такую технику.

В последнее время спрос ультрамалообъемный опрыскиватель «Туман» возрос. Стоимость обработки одного гектара этим агрегатом составляет 100 р., а за обслуживание полей с помощью СЛА Х-32 «Бекас» или дельталета МД-50П — 120 р./га. Наземная обработка стоит раза в два дешевле авиационной, но за счет того, что «Туман» лишь приминает посевы, а не ломает, как при проходе трактора, наземная обработка стоит дороже, чем для трактора.

Главным достоинством авиационной обработки считают высокую рабочую скорость. Например, СЛА Х-32 «Бекас» способен обработать 150 га/час при расходе от 0,2 до 0,3 л/га топлива и от 0,5 до 7 л/га препарата. Но в настоящее время и при наземной обработке в хозяйстве начали использовать ультрамалообъемное оборудование, поэтому возросла скорость, и снизился расход рабочей жидкости (если раньше расход был около 300 л/га, то сейчас —

до 12 л/га). Следует заметить что, ультрамалообъемные опрыскиватели не альтернатива авиации — они запрещены Минздравом РФ, т.к. при их работе образуется мелкодисперсное облако пестицидов, которое переносится на значительные расстояния, и его перемещение нельзя контролировать.

К преимуществам авиации относят возможность вносить химические вещества в ранневесенний период, что очень важно в растениеводстве, когда наземная техника не может пройти по полю. Немаловажно и то, что СЛА не вредит растениям, тогда как при наземной обработке уничтожается от 6 % до 8 % посевов. Например, два хозяйства расположены рядом:

- первое не использует обработку с воздуха и получает 17 ц/га фуража;
- у второго, где работают СЛА, урожайность 55 ц/га товарного зерна.

Особенно это важно при внесении химических веществ, т.е. чем раньше их внести, тем на большую урожайность можно рассчитывать. Главным же недостатком воздушного метода можно считать дороговизну, которая связана с высокой стоимостью топлива, масел и запчастей. Но авиационное внесение химических веществ при грамотном подходе полностью оправдывает вложенные средства.

При выборе метода обработки хозяйствам необходимо исходить из их специализации. Из практики следует, что если хозяйства выращивающие зерновые культуры, то не могут обойтись без авиации. А там, где занимаются овощеводством, плодоводством, авиация в настоящее время не применяется. Площади обработок небольшие, и наземная техника справляется.

При выборе техники, необходимо руководствоваться специализацией — на зерновых и рисе, использовать наиболее широко распространенный в России самолет Ан-2 (Ан-3Т — средняя весовая категория загрузки — до 1,7 т), который может выполнять все виды защитных обработок. К сверхлегкой категории (полезная нагрузка до 100 кг) относится СЛА «Авиатика-МАИ-890СХ», стоимостью около 45 тыс. у.е. Среди СЛА с взлетной массой до 450 до 500 кг и полезной нагрузкой от 100 до 120 кг наиболее распространены

мотодельтапланы (дельталеты) с гибким крылом и балансирным управлением: МД-50П со стоимостью в пределах 20 тыс. у.е.

Средняя производительность мотодельтапланов при работе с нормами рабочей жидкости до 10 л/га колеблется в диапазоне от 45 до 65 га в летный час, а стоимость обработки составляет от 100 до 130 р./га. Производительность «Авиатика-МАИ-890СХ» примерно такая же, но стоимость обработки несколько выше — от 120 до 190 р./га. СЛА Ан-2 при работе с традиционными нормами рабочей жидкости от 50 до 100 л/га орошает от 60 до 90 га в летный час при среднем тарифе 250 р./га, а производительность СЛА Ми-2 при тех же условиях составляет от 40 до 70 га в летный час при тарифе от 300 до 350 р./га.

Применение авиации в сельскохозяйственном производстве позволяет проводить операции по обработке площадей химикатами в оптимальные агротехнические сроки, без механических повреждений растений и уплотнения почвы, снизить потребность в наземной технике и рабочей силе, охватить большие территории и т.д. Наибольший эффект защитные мероприятия дают при проведении их в максимально сжатые сроки в течение трех, максимум пяти дней, что не всегда можно обеспечить наземными способами внесения средств защиты растений, таблица 1.3.

Таблица 1.3 — Сравнительные данные авиационных и наземных средств по обработке сельскохозяйственных посевов методом опрыскивания с учетом затрат по недопущению ущерба окружающей среде

Показатель	Размерность	СЛА	Наземные средства
Производительность	га/ч	100	3
Стоимость с аппаратурой	р.	32700000	894000
Приведенная стоимость НКМ и затрат на ООС	р./га	120	39
Потребное количество	шт.	1000	18900
ПЭР	р./га	16680	1920
КЭР	р./га	3990	360
Приведенные эксплуатационные затраты	р./га	207	555
Суммарные приведенные затраты	р./га	327	798

Вместе с тем, применение сельскохозяйственной авиации ограничивается

рельефом местности, размерами полей, наличием препятствий на маршруте полета (лесных полос, ЛЭП и т.д.), наличием и состоянием взлетно-посадочных полос, условиями погоды, высокой стоимостью работ, опасностью сноса химикатов и многими другими факторами.

1.2 Анализ определяющих факторов по авиационному внесению химических веществ

По мнению специалистов, перспективными направлениями применения сельскохозяйственных АР в регионе считаются [40]:

- применение малообъемного (МО) и ультрамалообъемного (УМО) опрыскивания;
- применение комбинированных химических компонентов;
- повышение экологической точности внесения;
- применение комбинированного способа обработки;
- автоматизация технологического процесса;
- механизация подготовки и погрузки химикатов.

К региональным особенностям производства агрохимических мероприятий в Оренбургской области относятся:

- повышенная норма расхода жидкости в химикатах из-за низкой относительной влажности в дневное время суток в сезон применения;
- сравнительно высокая среднесуточная разница температур окружающей среды, снижающая производительность СЛА;
- большие высоты разворотов и перелетов, связанные с наличием холмистой и пересеченной местности и линий электропередач;
- наличие сети мелких населенных пунктов и связанные с этим экологические ограничения по эксплуатации;
- высокая степень запыленности воздуха.

Специфические региональные особенности обусловлены, прежде всего, географическими, метеорологическими и экологическими факторами.

Географические факторы:

- средняя высота над уровнем моря колеблется у нулевой отметки;
- в виду преимущественно равнинной местности преобладают участки сельскохозяйственного назначения большой протяженности;
- на равнинных территориях произрастают, как правило, однолетние травы; высокорослые растения на равнинных территориях представляют собой искусственные лесополосы;
- естественные лесные массивы сосредоточены в поймах рек.

Метеорологические факторы:

- метеорологические условия региона обусловлены резко континентальным климатом со значительными колебаниями сезонных температур;
- ввиду отсутствия естественных преград скорость ветра может достигать значительных величин; в период весеннего таяния снега поймы рек и низко расположенные участки затапливаются талыми водами.

Экологические факторы:

- интенсивная эксплуатация нефтяных и газовых месторождений;
- деятельность предприятий, занимающихся переработкой нефти и газа;
- использование тепловозной тяги при железнодорожных перевозках.

В свою очередь, несоблюдение нормативов, использование устаревших технологий, нарушения технологических режимов зачастую приводят к непоправимым экологическим последствиям. В 1995–1998 годах зарегистрировано свыше 60 случаев нарушения норм и правил по авиационному внесению комплексных удобрений:

- использование не сертифицированной авиационной техники;
- использование непромышленного бортового сельскохозяйственного оборудования;
- применение не апробированных технологических приемов, повлекших экологический ущерб;
- низкий уровень автоматизации.

Процесс автоматизации носит комплексный характер и может быть обусловлен рядом специфических особенностей конкретной предметной области. Вместе с тем, любой аналогичный процесс неразрывно связан с процессом сбора или получения информации, ее обработки, хранения и передачи на исполнительный механизм, либо конечному пользователю.

Значительная часть информации используется при агрометеорологическом обслуживании сельского хозяйства. Информация, представляющая особый интерес для производителей сельскохозяйственной продукции, включает данные:

- о периодически проводимых сезонных и межсезонных полевых наблюдениях;
- по собранной и обобщенной информации о состоянии, росте и развитии сельскохозяйственных культур;
- о процессе формирования массивов сеяных трав и естественных пастбищ;
- об уровне теплообеспеченности и влагообеспеченности культурных растений.

Основное отличие этого специфического вида сельскохозяйственных работ заключается в использовании исключительного разнообразия типов и варианторазмеров средства доставки — СЛА.

Тактико–технические требования (ТТТ) к СЛА появились сравнительно недавно. Это объясняется тем, что продолжительное время к развитию и постройке специальных сельскохозяйственных самолетов (СХС) и СХВ не стремились и в основном использовали легкие самолеты, переоборудованные из военных и гражданских самолетов [11; 31; 33; 35].

Модификация используемых ЛА и разработка новых неизбежно приводит к изменению способов и средств внесения химических веществ, а в целом, к модификации технологий и появлению новых технологических приемов.

Необходимо отметить, что наряду с общими требованиями к СХС дополнительно предъявляются и специфические, связанные с выполнением

сельскохозяйственных АР.

Важнейшими характеристиками современных СХС с учетом специфических, связанных с выполнением сельскохозяйственных АР являются:

- грузоподъемность;
- рабочая скорость полета;
- скороподъемность;
- маневренность;
- расход химикатов на единицу площади;
- средняя площадь поля;
- длина поля;
- расстояние между полями и загрузочными аэродромами;
- характеристики наземного оборудования.

Требования к СХС и динамика изменения их таковы:

а) для первого поколения СХС (Л-60, Ан-2, PZL-101, Як-12 и другие самолеты, имевшие средний период эксплуатации 1960–1970 гг.) они ограничивались основными разделами ТТТ, а именно: летные характеристики и летные качества самолета;

б) для второго поколения СХС (Z-37, Ан-2М и другие современные самолеты) дополнительно к двум основным разделам требований рассматривались следующие:

- технические требования;
- экономия;
- принципы конструкции;
- безопасность полета;
- летный комфорт;

в) дополнительные элементы управления балансировкой СХС следует располагать в кабине летчика.

При проектировании СХС в большинстве случаев двигатель выбирается из существующих, имеющих высокую надежность, проверенную в эксплуатации. Такое решение вполне оправдано, так как значительно

сокращает срок ввода в эксплуатацию новых СХС. В настоящее время выставляется требование установки турбовинтового (ТВД) или двухконтурного (ДТРД) двигателей взамен применяемых поршневых (ПД). Устанавливаемые двигатели должны обладать хорошей приемистостью и обеспечивать безопасный уход на второй круг с высоты выравнивания. Они должны надежно запускаться от автономного источника питания 40-60 раз в течение летного дня.

В связи с тем, что СХС обычно взлетают с грунтовых аэродромов, силовая установка должна иметь надежную защиту двигателя от попадания посторонних предметов. СХС должны быть оборудованы насосом для автономной заправки топливом [38].

При проектировании и постройке СХС необходимо в первую очередь предусмотреть, чтобы конструкция обеспечивала безопасность пилота, особенно на случай аварий и капотирования. Необходимо уделить внимание обеспечению условий работы, безопасных для здоровья пилотов и наземного персонала. Особенности работы летчика СХС, которые требуют максимальной сосредоточенности и быстрой реакции, таковы:

- длительные полеты (от 6 до 8 ч в сутки);
- постоянное пребывание на малых высотах;
- частые развороты и резкие изменения высоты;
- большой шум и вибрация;
- высокие температуры и перепады температур в течение дня;
- контакт с ядохимикатами.

Наличие перечисленных негативных факторов предъявляет особые требования к кабине СХС.

Одной из распространенных концепций по выбору конструкции СХС является концепция безопасного для летчика разрушения самолета. В соответствии с этим даются такие рекомендации (требования) по проектированию.

Передняя часть фюзеляжа и кабина пилота должна выдерживать нагрузки при авариях до 40g, а конструкция СХС — поглощать кинетическую энергию

удара путем прогрессивного разрушения. Если каркас конструкции изготовлен из труб, то при ударе они должны изгибаться и «отходить» в сторону от экипажа. По прочности конструкция СХС должна обеспечить максимальную эксплуатационную перегрузку $n_{\text{экспл.}} = 3,5$. В кабине пилота приборная доска должна изготавливаться из пластичных материалов, без острых углов, а приборы не должны выступать над приборной доской. Прочность привязных ремней, сидений и их крепления должны выдерживать также до 40g, и разрушение их не должно наступать раньше разрушения кабины пилота.

Конструкция СХС должна обеспечить полную пожарную безопасность (топливные баки желательно располагать в крыле).

Кабина пилота, наряду с другими требованиями, должна удовлетворять санитарно-гигиеническим требованиям, а именно: быть герметической и в то же время обеспечивать приток очищенного и кондиционированного воздуха; температура в кабине.

Выбор рациональных параметров СХС непосредственным образом связан с необходимостью использования сельскохозяйственной аппаратуры и производится с учетом их взаимного влияния друг на друга.

Сельскохозяйственная аппаратура при выполнении АР как в сельском, так и в лесном хозяйстве, обеспечивает следующие виды работ: опыливание; опрыскивание; разбрызгивание; рассев; разбрасывание; посев.

Аппаратура для жидких химических веществ, находящаяся на борту СХС, должна обеспечивать устойчивое перемешивание суспензий и эмульсий в определенное заданное время и регулировку дисперсности капель (в полете), а система заправки отдельной подачи яда и воды — обеспечить точность концентрации до $\pm 5 \%$.

Специальная аппаратура должна обеспечить выполнение следующих функций:

- постоянную подачу жидкости под определенным давлением;
- контроль давления в системе приборами, установленными в кабине пилота;

- регулировку давления системы сельскохозяйственного оборудования в эксплуатации.

В большинстве случаев для управления сельскохозяйственным оборудованием и шасси СХС используются пневмосистемы, реже гидросистемы и электросистемы.

Большое количество видов работ по авиационному внесению химических веществ, требует различных вариантов сельскохозяйственного оборудования, на СХС применяется следующее оборудование:

- штанги для разбрызгивания жидких химикатов;
- вращающиеся разбрызгиватели жидких химикатов;
- распылители типа трубки Вентури;
- центробежные разбрасыватели технические средства для порошковых и гранулированных химикатов, разбрасывания отравленных зерновых приманок и посева различных семян;
- центробежные разбрасыватели для сухих химикатов.

Для внесения жидких химических веществ возможно использование гидродинамического излучателя (ГДИ) без применения поверхностно-активных веществ (ПАВ). Однако, использование ПАВ, даже в небольших количествах, увеличивает их стойкость во много раз. Обращение обратных эмульсий с помощью ГДИ позволяет поместить масляную фазу между двух слоев, например, воды, что резко уменьшит испарение (потери) масляной фазы.

Основным недостатком авиационной сельскохозяйственной аппаратуры является неравномерное покрытие обрабатываемых участков, а также малая ширина рабочего захвата за один гон. Кроме того, аппаратура СХС не специализирована с учетом большой неоднородности применяемых удобрений и различий их физико-химических свойств. Поэтому большое внимание уделяется ее усовершенствованию. Повышения эффективности функционирования авиационной сельскохозяйственной аппаратуры можно добиться заменой ветряного двигателя на привод, непосредственно связанный с силовой установкой СХС. Это дает возможность увеличить мощность привода

для применения более эффективных видов сельскохозяйственного оборудования.

Аппаратура СХС, как правило, легкоъемная и обеспечивает возможность перехода от одного вида сельскохозяйственных АР к другому при затрате труда не более двух человек.

Конструкция сельскохозяйственной аппаратуры, обеспечивающая быструю загрузку химических веществ (меньше одной минуты), должна предусматривать аварийный сброс из бака за время от 5 до 10 с, а подсистема сельскохозяйственного оборудования — выброс в широких пределах (от 0,1–0,2 дм³/га до 300–400 кг/га).

Особое внимание нужно уделить управлению сельскохозяйственной аппаратурой. Управление должно обеспечиваться во время полета одной кнопкой, находящейся на штурвале пилота. Причем время срабатывания механизма включения (выключения) — не более одной секунды, а желательно еще меньше. Вся сельскохозяйственная аппаратура должна быть достаточно герметична и выполнена из материалов, не реагирующих на воздействие химических веществ.

Для борьбы с вредителями и болезнями растений, а также с сорняками применяют разнообразные химические вещества:

- инсектициды для уничтожения вредных насекомых;
- фунгициды для защиты от возбудителей грибковых болезней растений;
- гербициды для уничтожения сорняков.

В практике распределения химических веществ, последние, в процессе предварительной обработки, как правило, переводятся в мелкодисперсное или аэрозольное состояние. При этом обрабатываемая поверхность возделываемой сельскохозяйственной культуры покрывается химическими веществами более равномерно, увеличивается вероятность попадания яда непосредственно на тело насекомого-вредителя, а также на поверхность почвы и обрабатываемых растений. Капли аэрозоля имеют большую проникающую способность в крону растений. Твердые или жидкие ядовитые химические вещества (или их

растворы), тонко измельченные в воздухе, образуют облако аэрозоля (тумана, пыли, дыма). Такое аэрозольное облако представляет собой дисперсную систему, средний диаметр частиц в которой составляет менее 50 мкм. Так, если один миллилитр жидкости (1 см^3) раздробить на капли диаметром в 10 мкм, то получится около 2 млрд. капель, суммарная поверхность которых равна $0,6 \text{ м}^2$.

При использовании аэрозолей в полевых условиях облако тумана или дыма под влиянием ветра движется над земной поверхностью. Большое число капель пыли твердых частичек, взвешенных в воздухе, их равномерное распределение по обрабатываемой поверхности определяют достаточно высокую эффективность аэрозольных обработок.

При аэрозольном способе распределения химических веществ за счет резкого увеличения числа частиц и общей площади их поверхности происходит изменение физико-химических свойств аэрозоля. Так, капли тумана и частички дыма поглощают световые и тепловые, лучи, поэтому аэрозоли можно применять для уменьшения теплового излучения почвы в ночное время, во время кратковременных заморозков. Заморозки на почве, столь опасные для развивающихся молодых сельскохозяйственных растений, возникают из-за того, что земная поверхность ночью интенсивно излучает воспринятое днем тепло. Это излучение можно уменьшить и, тем самым, предотвратить резкое охлаждение почвы. Для этого необходимо укрыть поверхность сельскохозяйственного полигона слоем искусственного тумана. Для этих целей созданы специальные генераторы, распыляющие в воздухе мельчайшие водяные капли. Но вода быстро испаряется и искусственный туман недолговечен, а его постоянное возобновление требует значительных материальных затрат.

В Одесском государственном университете разработан способ продления жизни искусственного тумана. Для этого заливаемую в генераторы воду смешивают с поверхностно-активными веществами, образующими на каплях защитную пленку. Тончайшая оболочка толщиной в один молекулярный слой увеличивает время жизни капель в сотни раз.

«Долгоживущим» искусственным туманом можно полностью экранировать тепловое излучение почвы и, таким образом, не допустить ее охлаждения. Для защиты растений от заморозка достаточно удерживать температуру почвы выше нуля градусов. По предварительным расчетам, для защиты таким способом одного гектара посевов или садов, в зависимости от метеорологических условий, требуется от 0,5 до 1,5 т жидкости в час.

Частицы аэрозоля диаметром меньше одного микрометра, участвуя в броуновском движении молекул среды, распространяются в воздухе по законам молекулярной диффузии. Размеры частиц высокодисперсных аэрозолей близки к размерам мельчайших возбудителей инфекционных болезней, поэтому аэродинамика их проникновения в поры одинакова.

Применение влажных и сухих аэрозолей позволяет уничтожать взрослых насекомых в полете, что недоступно при других способах. Большое значение это имеет при уничтожении насекомых, ведущих скрытый образ жизни и проявляющих активность только в ночные часы. Аэрозольный же способ борьбы с вредителями в таких случаях достаточно эффективен. Капли ядовитых химических веществ, предназначенные для уничтожения вредных насекомых — инсектицидов, осевших на листьях растений, либо остаются на их поверхности, либо проникают в ткани растения. Вредные насекомые, двигаясь по поверхности листьев или питаясь ими, испытывают на себе действие химических веществ и погибают.

При обработке возделываемой сельскохозяйственной культуры гербицидами капли, попавшие на листья сорных растений, проникают в ткани этих растений и приводят к их гибели.

При опрыскивании капли фунгицида покрывают поверхность листьев настолько густо, что споры возбудителей грибковых заболеваний, оседающие на листьях, контактируют с каплями и гибнут. Созданы фунгициды, которые, проникая в ткани растения, делают его ядовитым для возбудителей заболеваний.

При современных способах раздробления жидкости аэрозоль обычно

представляет собой ярко выраженную полидисперсную систему, в которой диаметры минимальных и максимальных капель отличаются друг от друга в десятки и сотни раз, а по объему — в тысячи и миллионы раз. Различные по размерам капли в облаке аэрозоля ведут себя по-разному. Для более равномерного осаждения капель на всей ширине обрабатываемого участка и уменьшения потерь химиката стремятся сузить диапазон дисперсности, т.е., уменьшить количество крупных капель, а при работе в полевых условиях сократить «шлейф» из мельчайших капель. Это достигается частично изменением режима работы источников аэрозоля.

Существует ряд способов превращения жидких и твердых химикатов в аэрозоль различной дисперсности. Но не все они могут быть использованы на практике, так как одни малопроизводительны или трудноосуществимы, другие вызывают потерю токсических свойств распыляемого вещества. Наиболее экономичным является способ получения искусственного дыма из органических синтетических ядов. Дым образуется в результате сжигания горючих материалов, пропитанных раствором химических веществ, причем сжигание не должно сопровождаться появлением пламени, так как это может привести к значительной и даже полной потере токсичности. Допустимо тление дымовых смесей при температуре не выше 180°.

При возгонке инсектицидных смесей образуются аэрозоли высокой дисперсности, на которые значительное влияние оказывают приземные воздушные потоки. В связи с этим необходима привязка графика проведения агрохимических мероприятий к метеорологическим условиям посевной площади возделываемой сельскохозяйственной культуры.

В дополнение к основным существуют еще три метода создания аэрозолей: механический; термический; термомеханический.

При механическом методе раствор химического вещества тем или иным способом дробится в воздухе на мельчайшие капли. При термическом методе химические вещества нагреваются, переходят в пар, который смешивается с более холодным воздухом. В результате охлаждения происходит конденсация

пара с образованием мельчайших капель (конденсационный туман). При термомеханическом методе сочетаются механический и термический методы получения аэрозоля.

Специальные опрыскиватели обеспечивают распыление жидкого пестицида на мелкие капли и нанесение капель пестицида на поверхность листьев растений. Распыление жидкости в опрыскивателях происходит истечением ее под давлением через отверстия различной формы (гидравлические опрыскиватели), или воздействие на жидкость скоростного потока воздуха, или сочетанием этих двух способов (вентиляторные опрыскиватели).

Для образования аэрозоля применяют большое число конструкций аэрозольных генераторов. Принцип действия генератора, в котором можно получить аэрозоль всеми тремя способами, состоит в том, что жидкое топливо распыляют в камере, и оно сгорает в смеси с воздухом, нагнетаемым компрессором. Образующиеся топочные газы пропускаются через сопло, куда одновременно подают раствор ядохимиката. Благодаря большой скорости движения топочных газов в сопле жидкость дробится и частично испаряется.

При выходе из сопла топочные газы смешиваются в струе с атмосферным воздухом. При этом возникает высокое пересыщение паров, что приводит к конденсации их и образованию мельчайших капель. Для уничтожения вредителей используют мелкодисперсные опрыскиватели и генераторы аэрозоля. Проведение агрохимических мероприятий в больших масштабах приводит к необходимости использования средств сельскохозяйственной авиации.

Эффективность использования специализированных СЛА связана с необходимостью определения диапазонов их эффективности на основе анализа и учета факторов, обусловленных неопределенностью [27; 39] (географические и климатические особенности посевной площади возделываемой сельскохозяйственной культуры, локальные метеорологические состояния (ЛМС)).

Зачастую поверхность посевной площади возделываемой сельскохозяйственной культуры определяется сложной топографией, поэтому аэронавигационное оборудование должно обеспечить безопасность полета СЛА на малых высотах. Обычно требуется штатное аэронавигационное оборудование, устанавливаемое на легких СЛА. Электрооборудование должно обеспечивать внесение химических веществ, как в дневное, так и в ночное время. В связи с этим особые требования предъявляются к устойчивости аэронавигационного оборудования, средств связи и управления сельскохозяйственной аппаратурой, представляющих в совокупности комплекс радиоэлектронных средств (РЭС) к воздействию электромагнитных помех и обеспечению электромагнитной совместимости [1; 2; 9; 18].

Специфика региональных особенностей и почвенно-климатических условий Оренбургской области позволяет развивать многоотраслевое сельское хозяйство. Этому способствуют проводимые агрометеорологические исследования, нуждающиеся, однако, в научной координации и разработке ряда новых направлений. Несмотря на развитие агрометеорологии, необходимо сделать акценты на ее практическую направленность и реальный вклад в сельскохозяйственное производство, способствовать дальнейшему совершенствованию методов агрометеорологических исследований, наиболее полно отвечающих запросам многопланового сельского хозяйства.

К настоящему времени главным направлением в исследованиях является разработка и внедрение методов агрометеорологических расчетов и прогнозов состояния и продуктивности возделываемых сельскохозяйственных культур. Дальнейший прогресс в этой области связан с применением динамико-статистических моделей и современных методов сбора информации. Разрешение существующих научных проблем в значительной степени зависит от успешности разработки и внедрения автоматизированной системы сбора, обработки, контроля и долговременного хранения агрометеорологических данных.

Недостатки существующих систем, совершенствование средств

вычислительной техники и программного обеспечения, возросшие требования агрометеорологической практики привели к необходимости решения задач по слиянию оперативной и режимной информации в единый поток, контролю и уплотнению информации, организации банка данных (распределенной базы данных) для долговременного хранения, а также передачи информации. Одно из направлений исследований, связано с совершенствованием действующих, разработкой и внедрением новых наземных, авиационных и космических методов наблюдений.

Обозначенные проблемы приводят к необходимости глубокого понимания динамических и физических механизмов крупномасштабных процессов, развития сети наблюдений. Необходимость использования численных методов прогнозирования, представленных сложными системами уравнений, интегрирование которых сопряжено с трудностями физического, математического и информационного характера, требует применения средств вычислительной техники с высоким быстродействием. Это обусловлено необходимостью принимать во внимание множество взаимосвязанных процессов, описываемых математическими моделями, представляющими собой сложные системы математических уравнений.

Значительная часть трудностей физического и информационного характера до сих пор не преодолена, главным образом, из-за отсутствия информации, необходимой для исследования ряда явлений и процессов. Таким образом, проблема неполноты и неточности информации о состоянии внешней среды для обеспечения качественных прогнозов становится главной.

1.3 Обзор и анализ исследований по повышению качества и урожайности сельскохозяйственных культур при авиационном внесении химических веществ

Обзор и анализ исследований по экологической надежности при авиационном внесении химических веществ показал, что на протяжении всего

периода развития сельскохозяйственной авиации (с 1945 года) научные исследования охватывают в первую очередь вопросы создания и применения специальной сельскохозяйственной аппаратуры и оборудования, проектные исследования по СЛА, и далее вопросы экономики, технологии, организации и охраны окружающей среды. Более 25 лет все НИР и ОКР были сосредоточены в отделе сельскохозяйственной авиации ГосНИИ ГА.

В дальнейшем (1965 год) был организован Всесоюзный научно-исследовательский институт сельскохозяйственного и специального применения гражданской авиации (ВНИИСХСПГА), в котором за короткий срок разработаны рекомендации и нормативы при авиационном внесении удобрений, которые (вкуче с санитарными нормами) действуют и в настоящее время. Более частными задачами по качеству распыла жидких химикатов в эти же годы (до 1988 года) занимался ЦАГИ им. Н.Е. Жуковского.

Целевых и системных исследований по оценке эффективности инновационных процессов в организации и технологии при авиационном внесении химических веществ в настоящее время не проводится. А все имеющиеся исследования по эффективности внесения химических веществ можно классифицировать по трем направлениям:

- анализ влияния внесения химических веществ на плодородность почв и продуктивность растениеводства;
- работы, посвященные анализу путей интенсификации сельскохозяйственного производства и необходимости применения химических веществ;
- разработка методологии и методик оценки воздействия при внесении химических веществ на окружающую среду.

Проведенный анализ научно-технической литературы, отчетов НИР и регистрационных карт программных продуктов позволил сделать следующие выводы:

- единственной возможностью повышения экономической независимости и конкурентоспособности сельскохозяйственного производства, целью которых

являются выход на международный рынок и соблюдение норм продовольственной безопасности является повсеместное системное применение высокопроизводительных авиационных технологий при проведении агрохимических мероприятий;

- в существующей практике планирования и производства при авиационном внесении химических веществ следует отметить низкий уровень автоматизации принятия управленческих решений, связанной с локальной операционной технологией в границах отдельных хозяйств;

- анализ возможностей при авиационном внесении химических веществ показал, что исследованные системы, представленные законченными программными продуктами, ориентированы, скорее, на использование экономистами или аналитиками, чем непосредственными исполнителями АР, реализующими агрохимические мероприятия;

- исследованные программные комплексы построены на основе математических моделей, описывающих сложные для формализации функции специализированных подсистем, реализующих тактические летные операции с использованием приближенных двумерных описаний трехмерных объектов — элементов подстилающей поверхности;

- в концепциях, определяющих направление развития авиационного внесения химических веществ, отсутствует важная компонента — агрометеорологическая составляющая, наличие которой должно быть учтено при описании аналитической модели летной операции в виде модели прогнозирования локальных метеорологических состояний.

Анализ условий противодействия и содействия позволяет не только учитывать их в процессе решения задач управления и планирования, но использовать для достижения цели повышения качества и урожайности сельскохозяйственных культур. Это, в свою очередь, предполагает решения частных задач не только распознавания, но и прогнозирования условий протекания многопараметрических процессов, сопровождающих операционные технологии летной операции. Исходя из предпосылок, представленных

проведенным анализом, сформулирована постановка цели и задач прогнозирования. Целевая функция имеет вид следующего математического выражения

$$W = W(\{\tau\}, \{\beta\}, \{U\}) \rightarrow \max, \quad (1.1)$$

где τ — шаг по времени;

β — агрометеорологическая составляющая;

U — управляющее воздействие.

Целевая функция демонстрирует максимизацию показателя эффективности. При этом на отдельные параметры накладывается ряд ограничений:

а) взлетная масса СЛА $m_{СЛА} — m_0 < m_{СЛА} \leq m_{взл}$;

б) масса топлива $m_{топл} — m_{топл} < m_{взл}$;

в) масса полезной (коммерческой загрузки) нагрузки $m_{уд} (m_{ком}) — 600 \text{ кг} < m_{уд} \leq 1000 \text{ кг}$;

г) время проведения работ ограничено светлым временем суток $t_{раб} — t_{Свосх} < t_{раб} \leq t_{Сзах}$.

Согласно задачи по техническому способу построения программного обеспечения основанного на формализованном описании операционной технологии внесения химических веществ, объектом исследования является операционные технологии с m входами $[X = (x_1, x_2, \dots, x_m)]$, при помощи которых производится оптимизация компонентов содействия и противодействия внесения химических веществ. На операционные технологии воздействуют неуправляемые и неконтролируемые факторы ($e = e_1, e_2, \dots, e_i$) в соответствии с принципиальной схемой управления, приведенной на рисунке 1.5.

Выходные показатели, характеризующие операционные технологии, представлены вектором критерия качества Y

$$Y = \{Y_1(X, e), Y_2(X, e), \dots, Y_s(X, e)\}, \quad (1.2)$$

где Y_s — вектор критерия качества операционной технологии;

e — неконтролируемые факторы;

X — компоненты содействия и противодействия.

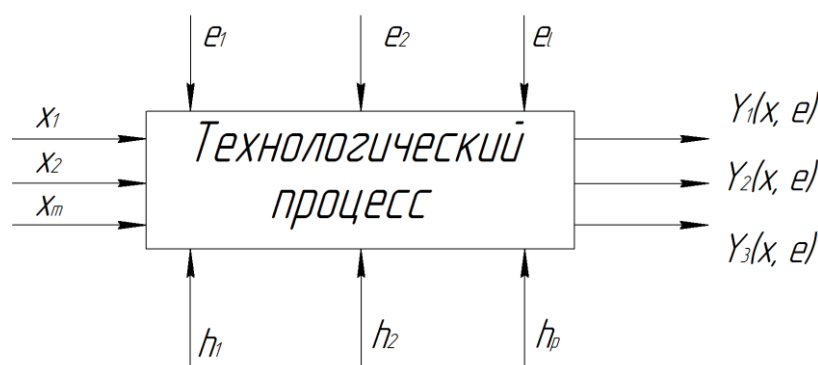


Рисунок 1.5 — Принципиальная схема повышения качества и урожайности на формализованном описании операционной технологии, как объектом многопараметрической оптимизации

Управляемые переменные $x_i, i = \overline{1, m}$ независимы друг от друга в процессе оптимизации и могут изменяться в заданных пределах и характеризуют режимы операционной технологии

$$x_{i \min} \leq x_i \leq x_{i \max}. \quad (1.3)$$

Критериями выбираются те, которые необходимо улучшить путем выбора управляемых переменных компонентов содействия и противодействия при внесении химических веществ. Неуправляемые факторы $e_j, j = \overline{1, l}$ создают неопределенность. Имеется p входов (показателей $h_j, k = \overline{1, p}$), определяемых возмущениями. Идентификация системы управления переменными компонентами содействия и противодействия при внесении химических веществ связана с необходимостью выбора адекватного принципа управления. Этот

выбор следует осуществлять на основе учета перечисленных влияющих факторов, обусловленных неопределенностью, и неуправляемых факторов, определяемых возмущениями [4; 5; 7; 10; 13; 26].

1.4 Оценка компонент иерархической структуры уровней моделирования операционной технологии при внесении химических веществ

В основу иерархической структуры уровней моделирования положены следующие основные принципы:

- уровень математического моделирования описываемого процесса или явления должен определенным образом соотноситься с уровнем описания соответствующих технологических структур: этапов, процессов, технологий;

- структурная целостность и логическая завершенность математического описания объектов и атрибутов исследуемого уровня моделирования процессов и явлений;

- наличие причинно–следственной связи между объектами, которыми представлен конкретный уровень иерархии, их свойствами и выявленными межуровневыми взаимосвязями;

- объекты и атрибуты верхнего уровня моделирования могут быть представлены совокупностью объектов и атрибутов нижнего уровня;

- возможность представления сложных для формализации, малоизученных процессов и явлений на основе логико–лингвистических моделей и (или) фрагментов описаний на вербальном уровне.

Сформулированные принципы позволяют создать формализованное пространство описаний при сохраняющейся возможности включения вербальных описаний. На основе сформулированных принципов возможно выстраивание архитектуры логико–структурных иерархий уровней моделирования исследуемых процессов, представленной на рисунке 1.6.

Компоненты иерархической структуры уровней моделирования

представлены моделями, описывающими процессы и явления исходя из уровня их декомпозиции и детализации. Это связано, главным образом, с необходимостью согласования виртуальных, гипотетических представлений об объекте с требуемой подробностью его описаний.

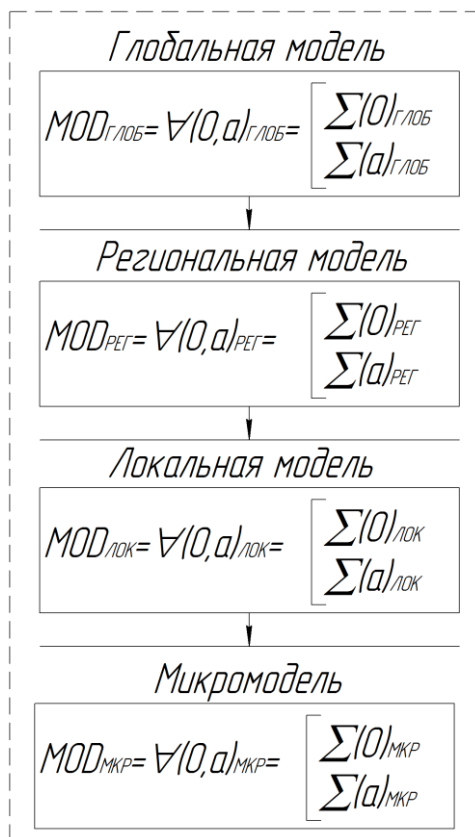


Рисунок 1.6 — Архитектура логико–структурных иерархий уровней моделирования исследуемых процессов и явлений

Данный принцип регламентирует структурную целостность и логическую завершенность математического описания объектов и атрибутов исследуемого уровня моделирования процессов и явлений.

Глобальные модели. В работах [30] авторами представлена разработанная и реализованная Гидрометцентром России в вычислительной среде CRAY UNICOS технология выпуска прогнозов метеорологических полей с дискретностью по времени 6 часов на основе глобальной модели высокого пространственного разрешения. По вертикали толща атмосферы разделена на 31 слой, к серединам которых приписаны основные счетные *s*-уровни.

Выходной продукцией модели являются прогностические поля следующих метеорологических элементов:

- давления на уровне моря p_0 , мБар;
- геопотенциальных высот H , гПа;
- температуры воздуха (T , °C) у поверхности Земли на высоте два метра;
- относительной влажности воздуха (R , %);
- зональная и меридиональная составляющие скорости ветра V , м/с;
- аналог вертикальной скорости ветра.

Выходная продукция доступна пользователям через базы данных Гидрометцентра России, с серверов ГИС-МЕТЕО и через сеть internet.

Оперативные испытания глобальной модели показали, что:

- качество прогнозов полей давления, температуры воздуха и скорости ветра выше качества аналогичных моделей;
- качество прогнозов метеорологических полей для внетропической части Южного полушария по различным показателям либо близко, либо несколько ниже соответствующих показателей по Северному полушарию.

Региональные модели. В работе [24] представлена региональная модель краткосрочного прогноза метеорологических полей и осадков. Региональная модель разработана в Гидрометцентре России. Шаг по горизонтали не более 50 км по территории Евразийского континента в s -системе координат. В модель включен метод прогноза, включая фронтальные осадки большой интенсивности.

При реализации модели в s -системе координат разрешены и другие проблемы. Это выбор рельефа для данной территории, переход из p -системы координат в s -систему и обратно. Переход к s -системе координат означает, что интегрирование уравнений модели будет проводиться на спрямленной относительно рельефа поверхности. Высота рельефа задается как функция

$$x, y(\Gamma = \Gamma(x, y)), \quad (1.4)$$

где Γ — функция высоты рельефа над уровнем моря.

Вертикальная координата

$$s = p/p_s, \quad (1.5)$$

где p_s — давление на земной поверхности, мм.рт.ст.

Уровень $s = 1$ совпадает с поверхностью Земли, на этом уровне значение высоты H всегда равно высоте рельефа. Исходными уравнениями в s -системе координат на плоскости являются уравнения движения, описывающие изменения компонентов скорости ветра u и v , уравнение притока тепла, уравнение переноса влажности в системе координат. Область интегрирования по горизонтали — прямоугольник на карте, по вертикали — от $s = 0$ до $s = 1$.

Граничные величины u , v , T , q , p (приземное давление) задаются как функции по времени при $\sigma = 0$; $\sigma' = 0$ и $\sigma = 1$; $\sigma' = 0$, в результате потенциальную функцию Φ , вычисляют по формуле

$$\Phi = g \Gamma(x,y), \quad (1.6)$$

где Γ — функция высоты рельефа над уровнем моря.

В качестве начальных условий u , v , T , q задаются как функции x , y , σ и $p(x,y)$. Для интегрирования по времени используется метод центральных разностей, согласно которому уравнения типа $(\partial f / \partial t = A)$ записываются в виде

$$\delta_t \cdot f^n = (f^{(n+1)\tau} - f^{(n-1)\tau}) / (2 \cdot \tau) = A^{n\tau}, \quad (1.7)$$

$$\delta_t \cdot f = (f^\tau - f^\tau) / (2 \cdot \tau) = A^l, \quad (1.8)$$

где τ — шаг по времени, ч;

(τ) — расчетный момент времени, ч;

(o) — начальный момент времени, ч;

$(-\tau)$ — момент времени, ему предшествующий, ч.

На первом шаге берется односторонняя разность (представленная методом Эйлера)

$$f^{\tau} = f^0 + A^0 \cdot \tau, \quad (1.9)$$

где f — функция от компонент: скорости ветра, температуры и влажности.

Кроме того

$$f^{-\tau} = f^0 + \alpha \cdot (f^{\tau} - (2 \cdot f^0) + f^{\tau}). \quad (1.10)$$

Работоспособность модели, под которой понимается:

- отсутствие в прогнозе высокочастотных колебаний, являющихся следствием несогласованности исходных данных;

- отсутствие линейной и нелинейной неустойчивости численной схемы;
- независимость результатов расчета от ошибок аппроксимации;
- возможность расчета по модели в реальном масштабе времени.

Входными параметрами являются:

- вертикальные профили температуры и удельной влажности;
- приземное давление;
- альбедо подстилающей поверхности;
- общее содержание озона в столбе атмосферы;
- температура и влажность подстилающей поверхности;
- склонение Солнца с учетом времени года и суток;
- значение солнечной постоянной;
- концентрация углекислого газа;
- среднее расстояние от Земли до Солнца в зависимости от времени года.

С помощью интегральных функций пропускания атмосферных газов H_2O , CO_2 и O_3 , вычисляется эффективный поток длинноволновой радиации $F(z)$. После вычисления $F(z_i)$ определяется длинноволновый радиационный баланс подстилающей поверхности

$$(\sigma_{sB} \cdot T_s^4) - F_g. \quad (1.11)$$

Взаимодействие теплового излучения с атмосферными газами зависит от массы поглощающих веществ H_2O , CO_2 и O_3 . Коротковолновая компонента притока и радиационного баланса подстилающей поверхности S_g также вычисляется в радиационном блоке.

В эволюционные уравнения гидро–термодинамики, интегрированием которых осуществляется прогноз, добавляются слагаемые вида

$$(\partial/\partial z) \cdot K_f \cdot (\partial f / \partial z), \quad (1.12)$$

где K_f — коэффициент турбулентности.

Для приземного подслоя $[z_0, z_1]$ вводится понятие масштаба длины турбулентности L или соответствующая безразмерная величина

$$\zeta = \Delta z / L, \quad (1.13)$$

где $\Delta z = z_1 - z_0$;

z_0 — высота подстилающей поверхности, м;

z_1 — первый расчетный уровень модели.

В основе нахождения ζ лежит решение трансцендентного уравнения, оперирующего функциями безразмерных переменных Ψ_H , Ψ_M и имеющего вид

$$R_{iB} = \zeta \cdot ((\psi_H(\zeta) - \psi_H(\zeta \cdot (z_0/z_1))) / (\psi_H(\zeta) - \psi_H(\zeta \cdot (z_0/z_1)))^2), \quad (1.14)$$

где R_{iB} — число, пропорциональное перепаду температуры Θ на уровнях $z_1 - z_0$ и параметру

$$\lambda = g / (\Theta \cdot (z_0)), \quad (1.15)$$

где Δz обратно пропорционально $(u_1^2 + v_1^2)$.

С нахождением ζ :

- находятся потоки тепла, импульса и влаги

$$K_f \cdot (\partial f / \partial z) \cdot (f - \Theta, u, v, q). \quad (1.16)$$

На нижней границе расчетной области модели z_1 ;

- параметр u_* , с помощью которого определяется нижнее граничное значение для расчета энергии турбулентных пульсаций E .

Параметр u_* находится из соотношения

$$u_*^2 = C_{u*} \cdot (u_1^2 + v_1^2), \quad (1.17)$$

где $C_u = (k / (\psi_M(\zeta) - \psi(\zeta \cdot (z_0 / z_1))))$;

k — постоянная Кармана.

При расчете осадков реализована идея, согласно которой водности в безоблачной части ячейки нет. Величина b является баллом облачности, общую водность ячейки m , вычисляют по формуле

$$m = b \cdot m + (\tilde{1} - b). \quad (1.18)$$

Таким же образом связаны между собой U и b

$$U = b + (1 - b) \cdot U_0. \quad (1.19)$$

Уравнения для изменения температуры T_t , влажности q_t и водности m_t в ячейке, вычисляют по формуле

$$T_t = A_T - (L_{y\partial} / C_p) \cdot (E_c + E_r - Q), \quad (1.20)$$

$$q_t = A_q + E_c + E_r - Q, \quad (1.21)$$

$$m_t = A_m - E_c + Q - P, \quad (1.22)$$

где A_T , A_q , A_m — изменения соответствующих метеорологических величин. Остальные величины имеют следующий смысл:

E_c — испарение капель из облачной зоны в безоблачную;

E_r — испарение дождевых капель в безоблачной зоне;

Q — конденсация пара;

P — осадки, выпадающие лишь из облачной зоны;

$L_{y\partial}$ — удельная теплота испарения воздуха при постоянном давлении;

c_p — удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении.

Интенсивность осадков P_r , вычисляют по формуле

$$P_r = \int_0^p (P - E_r) \cdot (dp / g), \quad (1.23)$$

где g — ускорение свободного падения, м/с^2 .

Значение величины b , являющееся баллом облачности, вычисляют по формуле

$$b = (\partial q_s / \partial t) + Q = b \cdot A_q, \quad (1.24)$$

$$(\partial q_s / \partial t) = (\partial q_s / \partial T) \cdot (\partial T / \partial t), \quad (1.25)$$

$$b \cdot (\partial q_s / \partial t) = (A_T - (L/C_p) \cdot E + (L/C_p) \cdot Q) = b \cdot A_q - Q, \quad (1.26)$$

$$Q = b \cdot ((A_q - (\partial q_s / \partial T) \cdot (A_T + (L/C_p) \cdot E)) / (1 + b \cdot (L/C_p) \cdot (\partial q_s / \partial T))), \quad (1.27)$$

где $E = E_c + E_r$.

Выходными данными региональной модели являются величины:

- приземного давления, гПа;
- температуры воздуха у поверхности Земли;
- влажности воздуха;
- скорости ветра;
- обложных осадков.

Локальные модели. В работе [29] описана модель локального прогноза метеорологических полей и элементов погоды (приземного давления, температуры воздуха, направления и скорости ветра, осадков) на основе мезомасштабной гидродинамической модели атмосферы. Модель основана на численном решении системы уравнений. В качестве исходных данных используются данные наблюдений синоптических и аэрологических станций. В локальной модели присутствуют основные модули, в которых учтены физические механизмы, задействованные при описании суточного хода и пространственного распределения характеристик погоды:

- влажностный блок формирует облака и образование осадков;
- радиационный блок описывает процессы поглощения, пропускания и отражения солнечных и тепловых лучей в рамках методики интегральных функций пропускания для трех спектральных интервалов (видимого, инфракрасного и теплового) с учетом среднего содержания углекислого газа и рассчитываемого количества фаз атмосферной воды;

- турбулентный модуль базируется на теории, принятой в моделях прогнозирования и описывающей особенности суточного хода и вертикального распределения скорости ветра, температуры и влажности.

Постановка условий баланса тепла и влаги на нижней границе атмосферы связывает ряд физических факторов, такие как:

- турбулентный режим в приземном слое атмосферы;
- ламинарный режим в тонком подслое у поверхности Земли, которая может быть покрыта слоем выпавших осадков;
- условия балансов тепла и влаги на верхней и нижней границах этого слоя;
- процессы тепло- и влагопередачи в почве до глубины 1,2 м, где задается климатический ход изменения температуры и объемного влагосодержания. Участвующий в этом модуле параметр шероховатости зависит от локальных особенностей подстилающей поверхности.

Учет растительного покрова производится по эффективной численной методике. Он позволяет заменить процессы испарения воды с голой почвы процессами испарения порами листьев откачиваемой корнями почвенной воды и учесть задержку на листьях капельной воды, поступающей из атмосферы. Для этой цели создана карта растительного покрова, свойства которого принимаются во внимание и при расчете радиационного баланса.

Для построения исходных полей водности облаков и осадков принята следующая последовательность действий:

- построение профиля балла облачности по данным о температуре и дефиците точки росы;
- установление типа облачности и ее влагосодержания с помощью профилей балла облачности и температуры на основе атмосферных статистик;
- расчет водности осадков из диагностического соотношения, полученного из приближенного уравнения для эволюции осадков.

Технология анализа и локального прогноза осуществляется на ЭВМ CRAY–YMP, а результаты прогноза визуализируются на ПЭВМ с дискретностью три часа.

Прогноз составляется по территории региона (300×300 км) два раза в сутки с интервалом три часа и заблаговременностью до 36 ч. Модель предсказывает пространственные поля температуры, давления, ветра, влажности, водности облаков и осадков, интенсивности испарения осадков с почвы. Сеточное разрешение модели по горизонтали составляет 10 км (по 30 равноотстоящим узлам) и 15 уровней по вертикали (от поверхности Земли до высоты 10,5 км) при сильном сгущении уровней в нижних слоях атмосферы и при пяти расчетных уровнях в почве.

Микромоделю. Математическое описание процессов и явлений, происходящих в отдельно взятых природных анклавах, отличающихся локальной обособленностью, физико-географической уникальностью и природным своеобразием, приводит к необходимости использования микромоделей. Под моделированием на микроуровне следует понимать описание в едином масштабе объектов и взаимосвязей географических, метеорологических и техногенных факторов, соизмеримых с масштабами притекающих в них процессов. Нужно отметить, что физико-географическую уникальность и природное своеобразие не следует понимать как аномальность (урочище, оазис и т.д.). Любой сельскохозяйственный полигон, представленный среднестатистическим ландшафтом, будучи дифрагментированным на отдельные участки, по любому принципу, составит совокупность отдельных участков, обладающих физико–географическими особенностями.

Таким образом, все процессы и явления, происходящие на микроуровне, будут находиться в прямой зависимости от рельефа, его ориентации в течение светового дня по отношению к Солнцу, вида и количества растительности, наличия поблизости искусственных или естественных водоемов.

Проведенная идентификация уровней моделирования позволяет на основе анализа назначения и описательных возможностей представленных моделей произвести их оценку на адекватность целесообразности использования вложенных в них методик для достижения цели и решения задач диссертационного исследования.

Глобальная модель высокого пространственного разрешения отличается полнотой описания всего многообразия моделируемых процессов и явлений, сопровождающих развитие метеорологической ситуации на площади, обусловленной значительным территориальным охватом. Глобальная модель представлена технологией выпуска прогнозов метеорологических полей. При этом особое внимание уделяется развитию глобальных атмосферных процессов, оказывающих решающее влияние на основные метеорологические элементы.

Использование данного класса моделей для решения задач, связанных с учетом метеорологической обстановки при планировании и проведении тактической летной операции, нецелесообразно в связи с несопоставимостью масштабов, описывающих среднестатистические климатические условия с одной стороны, и локальные метеорологические состояния с другой.

Региональная модель предназначена для краткосрочного прогноза метеорологических полей и осадков. Модель привязана к системе координат с шагом по горизонтали не более 50 км, что некоторым образом изменяет масштаб прогнозирования и приводит к относительному однообразию условий моделирования. В модель включен метод прогноза, включая фронтальные осадки большой интенсивности.

Трудности при использовании моделей данного класса, при решении поставленных в диссертационном исследовании задач, связаны, главным образом, со значительной протяженностью метеорологических полигонов регионального уровня, и, как следствие, несопоставимости масштабов моделирования. Это, в свою очередь, снижает чувствительность модели.

Локальная модель предназначена для получения локального прогноза метеорологических полей и элементов. Модель основана на численном решении системы уравнений. Основным отличием локальной модели является возможность учета локальных особенностей подстилающей поверхности. В частности, следует отметить возможность учета наличия растительного покрова, демонстрирующего значительное различие в процессах испарения воды с почвы и испарения порами листьев откачиваемой корнями почвенной воды. В локальной модели принимаются в расчет свойства растительного покрова, принимаемые во внимание при расчете радиационного баланса. Очевидным достоинством локальной модели является возможность учета отдельных макроэлементов. Однако ее использование представляется недостаточно эффективным, в виду очевидной несопоставимости масштабов моделирования, и, как следствие, значительного снижения чувствительности.

2 Модель функционирования операционной технологии авиационного внесения химических веществ при возделывании сельскохозяйственных культур

2.1 Методика моделирования предметной области

При формализации внесения химических веществ СЛА в группе отраслей сельского хозяйства как составной части системы агропромышленного комплекса, процесс описывается математическими моделями, которые позволяют перейти от решения отдельных задач к основным производственным показателям — валовому сбору продукции и урожайности. Производными вышесказанных показателей является выбор рационального типа СЛА на базе закономерностей влияния летно–технических и технико–экономических характеристик и операционной технологии внесения химических веществ на основе модели летной операции. Взаимовлияние всех параметров выделенных характеристик, связанных с идентификацией внесения химических веществ, указать в математической модели на практике не представляется возможным, в связи с чем, кроме математических моделей могут быть использованы имитационные и эвристические модели.

Имитационные модели воспроизводят поведение системы на протяжении некоторого промежутка времени. Это достигается путем идентификации ряда событий (процессов), распределение которых во времени дает важную информацию о поведении системы. После того как такие события определены, требуемые характеристики системы необходимо регистрировать только в моменты реализации этих событий. Информация об операционных характеристиках системы накапливается в виде статистических данных таких наблюдений. Эта информация обновляется всякий раз при наступлении каждого из интересующих исследователя событий. Для построения имитационной модели не требуется явных функций, связывающих те или иные переменные, т.е. модели, позволяют имитировать поведение очень сложных

систем, решение которых иным способом невозможно. Из вышесказанного следует, что недостаток имитационных моделей заключается в том, что его реализация эквивалентна проведению множества экспериментов, что вызывает наличие ошибок [17; 34; 42].

Если невозможно точно сформулировать условие задачи, то для получения рационального, приближенного решения используют эвристические методы, базирующиеся на интуитивно или эмпирически выбираемых правилах, которые позволяют исследователю улучшить уже имеющиеся решения. Имитационные и эвристические модели представляют собой поиск разумного решения и перехода от одного текущего значения целевой функции модели к другой, что позволительно при моделировании АР. Известные направления моделирования имеют различные отправные точки, но объединяет их единый элемент, входящий в их основу, который выражается в связи с физической субстанцией природы АР. Вариативность и многомерность авиационного внесения химических веществ, а следовательно и операционной технологии заставляет актуализировать внимание на создание приближенных, изменяющихся моделей.

Описание операционной технологии по авиационному внесению химических веществ представляет собой определенную закономерность. Аккумуляцию всех параметров, влияющих на внесение химических веществ, указать в математической модели невозможно. Согласно проведенному в первой главе статистическому анализу необходимо обратить внимание на те, характеристики которые воздействуют наиболее существенно, при этом функция модели не должна быть только описательной, т.к. важна роль предсказательного характера процесса, рисунок 2.1.

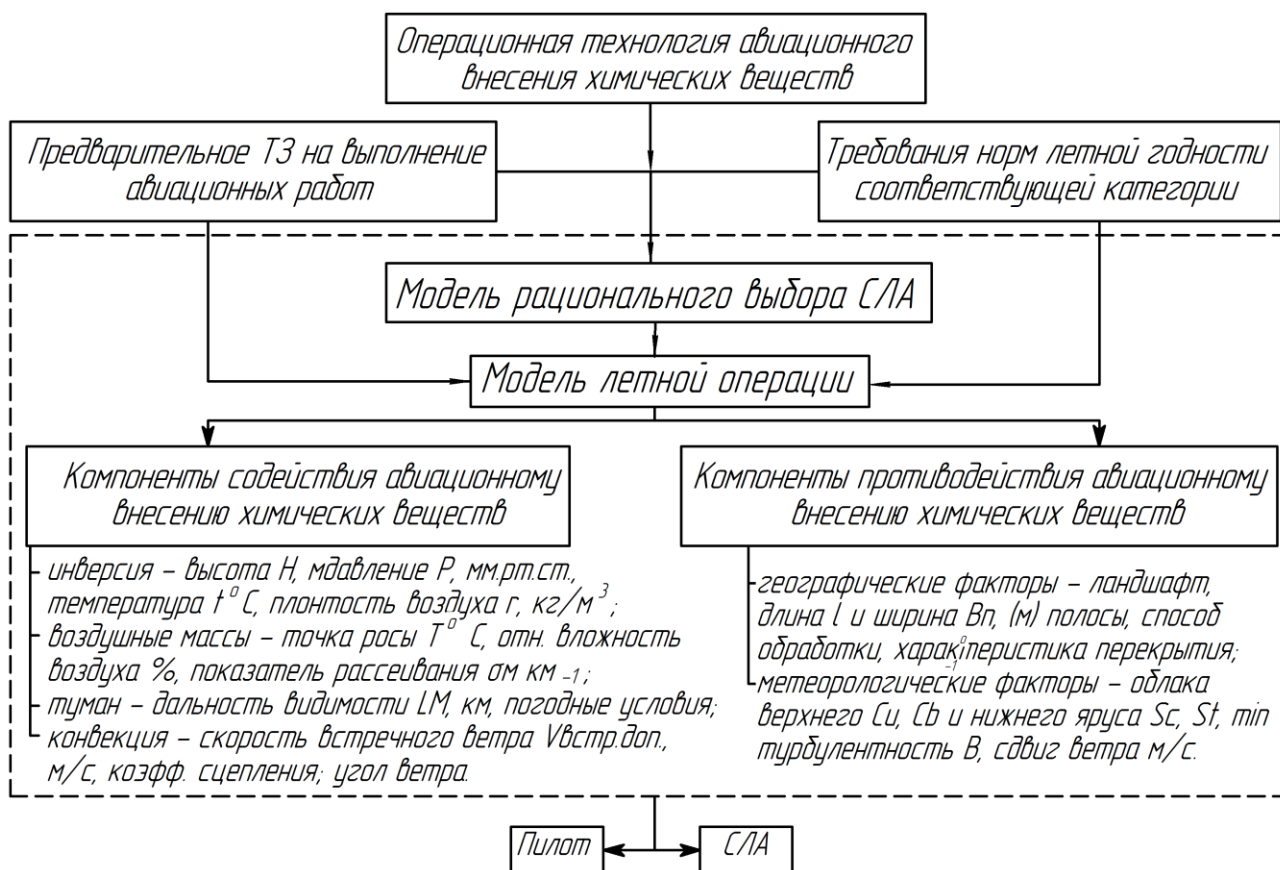


Рисунок 2.1 — Структурная схема операционной технологии авиационного внесения химических веществ

В связи с тем, что авиационное внесение химических веществ — это видоизменяющийся во времени процесс, необходимо выбрать те параметры, которые максимально оказывают влияние. В результате аккумулируются частные элементы для образования единой системы. Основополагающими характеристиками в структурной схеме выступает модель летной операции, модель рационального выбора СЛА и модель операционной технологии авиационного внесения химических веществ.

Из вышесказанного следует, что при математическом моделировании внесения химических веществ, приоритетным направлением будет поэтапное формирование перечисленных моделей.

2.2 Математическое моделирование авиационного внесения химических веществ при возделывании сельскохозяйственных культур

При рассмотрении модели авиационного внесения химических веществ невозможно исследовать одновременно в совокупности все отдельные множества характеристик. Поэтому подробнее остановимся на модели летной операции, выбора рационального типа СЛА для внесения химических веществ и на техническом способе построения программного обеспечения, основанного на формализованном описании операционной технологии внесения химических веществ [12; 21].

2.2.1 Приближенное моделирование функциональных зависимостей летной операции

Проведенный анализ в первой главе, позволяет сделать ряд заключений, свидетельствующих о наличии как минимум трех составляющих (компонент), которые необходимо принимать во внимание при формировании летной операции, связанной с внесением химических веществ. Это компоненты содействия — инверсия, воздушные массы, туман, конвекция; противодействия — географические факторы G (ландшафт, длина полосы, ширина полосы, путевая скорость, площадь охвата за пролет, способ обработки, характеристика перекрытия), метеорологические факторы M (облака нижнего и верхнего яруса, турбулентность и ее тип, сдвиг ветра) и техногенные факторы. Последние представлены как искусственными препятствиями, так и электромагнитными помехами IM , создающими условия для возникновения активного и пассивного противодействия средству доставки — СЛА.

Условия противодействия можно представить функциональной зависимостью

$${}^{np}Kon(Act, \{U\}) = f(G, M, IM), \quad (2.1)$$

где G — географический компонент;

M — метеорологический компонент;

IM — электромагнитный компонент (помехи).

В результате модель летной операции примет вид

$$МОД(W) = \langle Act, f(G, M, IM) \rangle. \quad (2.2)$$

Наряду с условиями и факторами противодействия следует признать объективно существующими факторы содействия проведению технологической летной операции. К ним относится ряд локальных метеорологических состояний ($ЛМС$, LMC), способствующих повышению качеству внесения химических веществ. К таким факторам следует отнести инверсию Inv , стоки холодных воздушных масс $m_{cxв}$, наличие тумана Du и конвекция C

$$^{cod}Kon(Act, \{U\}) = f(LMC), \quad (2.3)$$

где ^{cod}Kom — компоненты содействия;

U — управляющее воздействие;

LMC — локальное метеорологическое состояние.

В результате модель уточненная модель летной операции принимает вид

$$МОД(W) = f(Inv, m, Du, C), f(G, M, IM), \quad (2.4)$$

где Inv — инверсия;

$m_{cxв}$ — стоки холодных воздушных масс;

Du — туман;

C — конвекция;

G — географический компонент;

M — метеорологический компонент;

IM — электромагнитный компонент (помехи).

Целевая функция внесения химических веществ имеет вид следующего математического выражения

$$Y_u = W \left(\sum_{l=1}^k Y, \sum_{l=1}^k F, \sum_{l=1}^k U \right) \rightarrow \max, \quad (2.5)$$

где k — количество решаемых задач;

l — неопределенное число значимых параметров;

Y — выходной показатель;

F — возмущения;

U — управляющее воздействие;

Целевой функцией Y_u внесения химических веществ является мониторинг и выдерживание технологических параметров. Информация об отклонениях, превышающих допустимые нормативы, через датчики обратной связи и преобразующее устройство обратной связи в виде измеренных значений, поступает на сравнивающее устройство параллельно с данными о заданной технологии. При наличии значительных отклонений сравнивающее и исполнительное устройства формируют управляющее воздействие U на изменение параметров операционных технологий.

Наряду с данными об отклонениях, поступающих по цепи обратной связи, на систему управления воздействуют возмущения, представленные информацией с датчиков о возмущениях, включающих информацию о зарождении и развитии ЛМС.

Поскольку локальные метеорологические состояния, во многом определяющие условия внесения химических веществ, обусловлены неопределенностью и представлены взаимодействием многопараметрических процессов, примем множество описывающих их параметров прогнозируемыми величинами. Определение каждого параметра из данного множества представим в виде задачи прогнозирования *Indef*. Тогда задачу

прогнозирования локальных метеорологических состояний *ЛМС* можно сформулировать математически в виде нечеткого множества

$$X_{LMC}(\prod Indef) = \{\pi\}Indef, \pi \in \prod Indef, Indef = 1, n. \quad (2.6)$$

В данном случае под *n* понимается количество решаемых задач при неопределенном числе значимых параметров. Примем установку, в соответствии с которой наиболее важным условием содействия повышению качества внесения химических веществ, является инверсионная составляющая ЛМС, тогда

$$LMC = f(Inv), \quad (2.7)$$

где *ЛМС* — локальные метеорологические состояния;

Inv — инверсия.

В вероятностном аспекте

$$LMC = Pf(Inv), \quad (2.8)$$

где *P* — вероятность зарождения и развития инверсии.

2.2.2 Метод выбора рационального типа СЛА при авиационном внесении химических веществ на базе закономерностей влияния летно–технических и технико–экономических характеристик

Применение СЛА, как составной части авиационного специализированного комплекса, включающей совокупность подсистем, обеспечивающих данное применение, происходит в условиях операции, отражающей взаимодействие всех задействованных средств, участвующих в обеспечении и решении задач, поставленных при планировании агрохимических технологий.

При формулировании задачи указывается на выбор рационального типа СЛА, поскольку в условиях неопределенности, выбрать однозначно рациональный вариант невозможно. Исследование задач выбора при моделировании сложных технических систем и их взаимодействий с внешней средой является широкой и важной предметной областью, которая включает в себя задачи планирования и управления. Решение задач такого класса приводит к необходимости идентификации и классификации условий неопределенности, поскольку лишь такой подход позволяет, в результате, получить на выходе адекватные модели исследуемых многопараметрических, зачастую обусловленных известной периодичностью, процессов.

Согласно определению ИКАО, АР рассматриваются как специализированные операции коммерческой авиации (за исключением авиатранспортных операций), выполняемые воздушными судами (ВС). Типы операций и примерный перечень АР:

1. Авиационные работы. Прикладные АР — борьба с насекомыми и заболеваниями растений в сельском и лесном хозяйстве, внесение химических веществ и меченых элементов, посевные работы, засев облаков для образования осадков, борьба с лесными пожарами, пополнение рыбных запасов и поголовья диких животных.

2. Аэросъемка — составление топографических карт, геологическая разведка, полярные исследования, сельское и лесное хозяйство, проведение гидрологических исследований.

3. Воздушное наблюдение и патрулирование — наблюдение за сельскохозяйственными культурами, стадами, сельскохозяйственными угодьями; патрулирование лесов; метеорологические наблюдения.

4. Авиационные работы в строительстве — строительство линий электропередачи, трубопроводов, оснащение высотных зданий.

5. Аварийные операции — поисково-спасательные, санитарные рейсы и перевозка врачей, доставка персонала, продуктов питания или других припасов.

Вышеперечисленные операции АР могут выполнять вертолеты и ВС

(самолеты), в зависимости от декомпозиции постановок задач СЛА, рисунок 2.2.

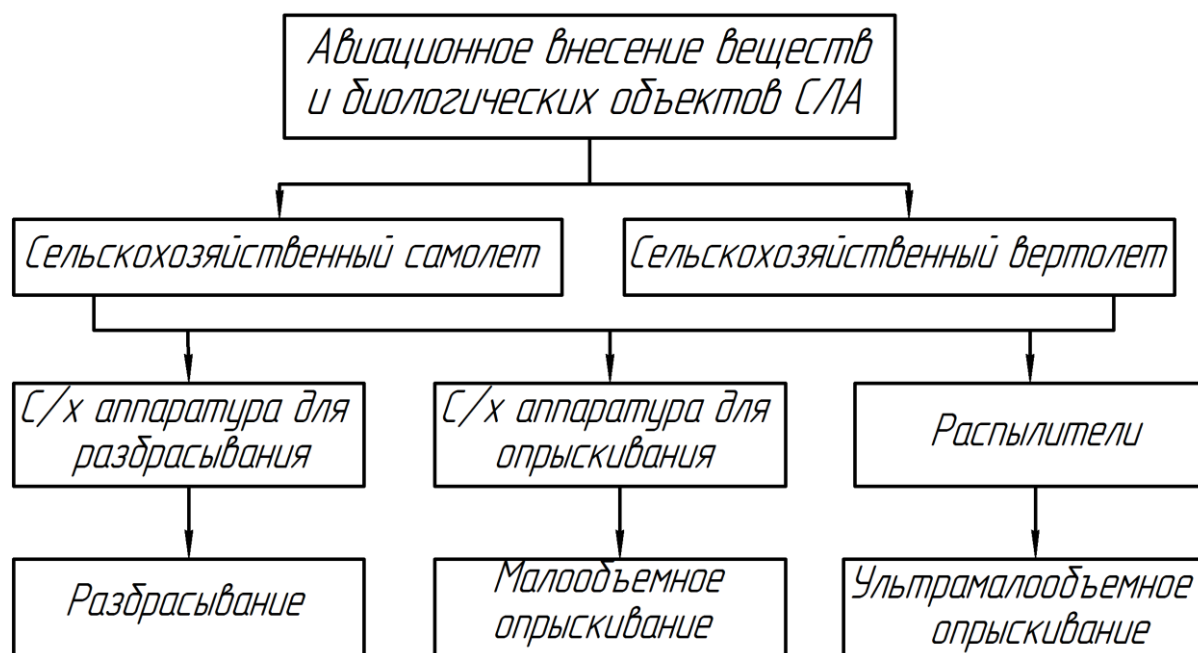


Рисунок 2.2 — Структурная схема процесса декомпозиции постановок задач СЛА на подзадачи

Анализ большого количества ВС легкого класса дает возможность провести классификацию отдельно по сверхлегким ЛА и мотodelьтапланам. Общая классификация приведена на рисунке 2.3.

В таблице 2.1 приведена классификация сверхлегких ЛА, основанная на выделении наиболее характерных признаков.

Таблица 2.1 — Классификация сверхлегких ЛА

Схема	Моноплан	Биплан	Утка	Тандем
Фюзеляж	Ферменный	Полумонокок	Монокок	Балочный
Мест	Одноместный	Двухместный	Трехместный	-
Двигатель	ПД	ТВД	Дизельный	-
Крыло	Гибкое	Жесткое Подкостное	Жесткое свободнонесущее	-
Шасси	Неубирающееся	Убирающееся	Поплавки	-
Кабина	Открытая	Закрытая	Закрытая с надувом	-

Основные летно-технические характеристики сверхлегких ЛА отечественной постройки:

- максимальная взлетная масса — от 220 до 300 кг;
- площадь крыла — от 5,6 до 9,0 м²;
- удельная нагрузка на крыло — от 31,4 до 45,4 кг/ м²;
- удельная нагрузка на мощность — от 5,1 до 8,9 кг/ л.с.

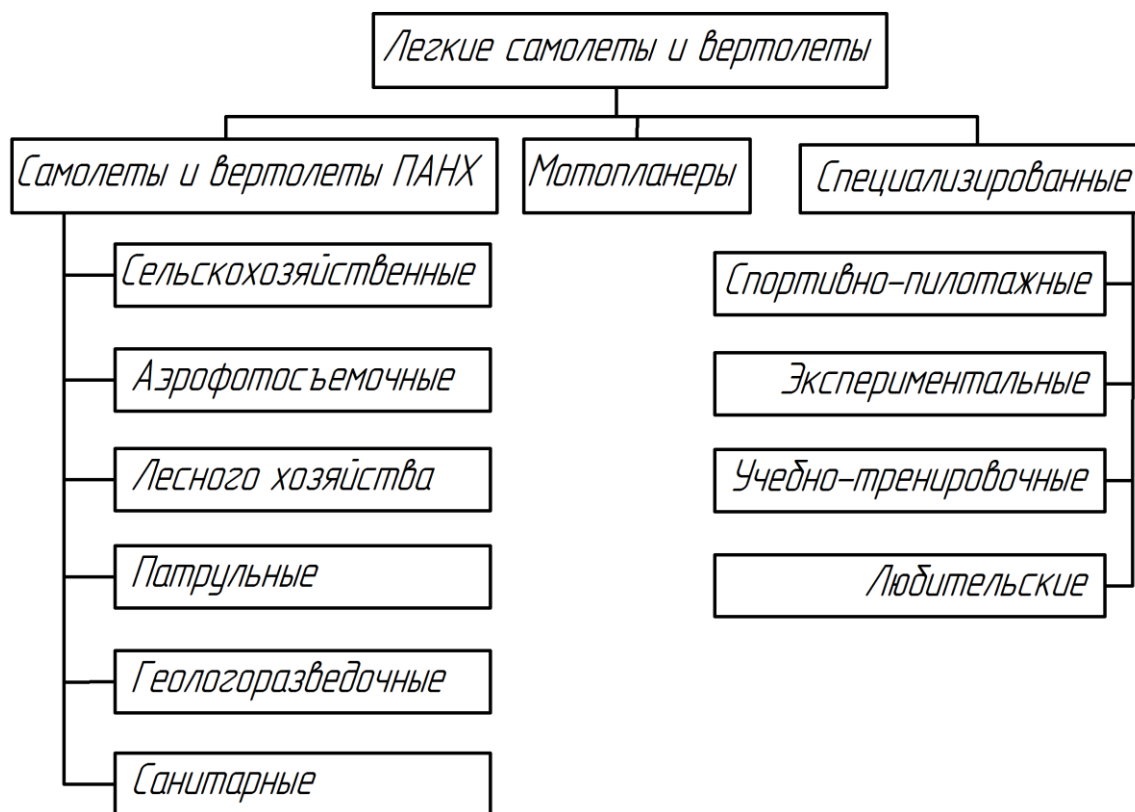


Рисунок 2.3 — Классификация самолетов и вертолетов легкого класса

Гипотетически все типы СЛА могут выполнять вышеперечисленные виды работ, но норма расхода и производительность различная, следовательно, ответственное лицо (менеджер) должен выбрать рациональный тип СЛА и операционную технологию, таблица 2.2, 2.3, 2.4, [8; 16; 19].

Таблица 2.2 — Сравнительные технико-экономические показатели разных типов СЛА (по отчетно-статистическим данным)

Виды работ	Норма расхода, кг/га	Производительность (га/час) самолетов и вертолетов				
		Ми-1	Ми-2	Ка-15	Ка-26	Ан-2
1	2	3	4	5	6	7
Рассев минеральных удобрений	100	27,7	67,9	18,5	67,9	50,0
	200	16,9	48,6	13,3	48,6	37,5
Опрыскивание садов	300	12,5	24,4	8,3	24,4	24,7
	400	9,4	20,9	6,2	20,9	18,6

Продолжение таблицы 2.2

1	2	3	4	5	6	7
Опрыскивание виноградарников	300 400	12,5 9,4	24,4 20,9	8,3 6,2	20,9 20,9	24,7 18,6
Борьба с сорняками	25 50	47,7 50,0	85,2 74,1	44,0 35,8	75,8 67,9	105,6 87,3
Опрыскивание против клопа- черепашки	50	75,0	100,0	50,0	100,0	80,0

Таблица 2.3 — Параметры и летно-технические характеристики вертолета Ка-126 (Ка-226) сельскохозяйственной модификации и сравниваемые СЛА с ограничениями

Параметры и ЛТХ, мин	Ан-2	Ми-2	Ка-26	Ка-126 Ка-226	Примечание
1	2	3	4	5	6
T_{en}	1,0	2,5	2,5	1,5	Запуск СУ, раскрутка НВ
	0	3,0	3,0	1,0	Выключение СУ, остановка НВ
	1,6	0,9	0,8	0,6	Взлет: разбег, набор высоты, разворот на курс
	1,1	0,9	0,8	0,6	Посадка: разворот с курса, планирование
	3,7	7,3	7,1	3,7	Итоговое время
$T_{топл}$	25,0	25,0	25,0	15,0	Заправка топлива (с рулением)
$T_{подг}$	70,0	55,0	55,0	40,0	Подготовка к полету, ТО
$T_{обсл}$	6,5	4,5	3,0	2,0	Загрузка химикатами
$T_{рул}$	1,5	0	0	0	Выруливание
$H_{рб}$ не менее	5,0	5,0	5,0	5,0	Равнина
	15,0	10,0	10,0	10,0	Лес, кустарники, сады и склоны
	50,0	30,0	30,0	30,0	Холмы и предгорья
$H_{рзв}$, м не менее	50,0	30,0	30,0	30,0	Высота разворота
$V_{рб}$, км/ч	150	25-120	25-105	30-130	В зависимости от вида АХР
$V_{рзв}$, км/ч	120	>80	>80	>80	Скорость разворота
K_{ψ}	8,25	6,5	6,3	6,1	Доворот
K_v	1,2	$\leq 3,0$	$\leq 3,0$	$\leq 3,2$	Соотношение
Θ	0,045	0,051	0,063	0,083	Набор
$H_{пер}$, м	150	50	50	50	Высота
$V_{пер}$, км/ч	140	100	100	120	При минимальном расходе топлива на километр
γ , град.	30	20	30	40	Угол крена
$m_{хм\ max}$, кг	1370	700	600	1000	Максимальная загрузка
$m_{пуст}$, кг	3460	2817	2478	2160	Масса пустого (снаряженного)
P_o , кВт	736	2×294	2×173	507	Мощность СУ
$n_{дв}$, шт.	1	2	2	1	Кол-во двигателей
L_{max} , км	600	420	450	450	Максимальная дальность
$T_{план}(W_n)$, ч	10000	8000	8000	12000	Ресурс планера
$T_{двиг}(W_d)$, ч	4000	3000	2250	6000	Ресурс двигателя

Продолжение таблицы 2.3

1	2	3	4	5	6
C_{po} , кг/кВт	0,36	0,44	0,65	0,361	Удельный расход
$Q_{чз}$, кг/ч	107	100	101,4	108	Расход при прогреве двигателя
СУ	ПД	ТВД	ПД	ТВД	Тип
Марка	АШ-62ИР	ТВД-350	М14В-26	ТВ-0-100	СУ
$Q_{чм}$, кг/ч	6,1	0,35	5,2	0,15	Расход масла
$Q_{чт}$, кг/ч	130,0	235,0	126,7	145,0	Расход топлива
$W_{э}$, ч	600	450	450	600	Годовой налет
$W_{мпр}$, ч	2000	1000	1000	1500	Межремонтный ресурс
$W_{мрд}$, ч	1000	1000	760	1500	Межремонтный ресурс
m_o , кг:					Изменение взлетной массы при разных значениях высоты взлетных площадок (местности над уровнем моря) и температуры окружающей среды
- Н=0 м: t = +10 ⁰ С t = +20 ⁰ С t = +30 ⁰ С	5500	3530 3520 3470	3160 3080 3000	3330 3180 3000	
- Н=500 м: t = +10 ⁰ С t = +20 ⁰ С t = +30 ⁰ С	5450	3550 3500 3320	2950 2930 2840	3200 3070 2890	
$Ш$, м	35	30	30	30	Максимально достижимая в зависимости от метода работ
	30	30	25	25	
	25	15	20	40	
	35	30	38	38	
	40	40	50	50	
	40	40	50	50	
$T_{п.ц}$, ч не более	2,0	2,0	2,0	2,0	По санитарно-гигиеническим условиям
m_{Tmax} , кг	850	620	640	800	По вместимости баков

Таблица 2.4 — Нормативы затрат рабочего времени самолетов и вертолетов при авиационном внесении химических веществ

№ п/п	Наименование операций и показатели режимов работы	Типы ВС			
		АН-2	МИ-2	КА-26	КА-126
1	2	3	4	5	6
1	Нормы времени на отдельные операции производственного цикла, мин:				
2	Запуск и проба двигателя, раскрутка несущего винта после каждого полета:				
3	- весной, летом, осенью;	0,5	2,5	2,5	1,5
4	- ранней весной, ранней осенью.	1,0	-	-	
5	Выключение двигателей, остановка винта: весной, летом, осенью. Выруливание на старт (после загрузки) и подруливание к месту загрузки (после пробега)	-	3,0	3,0	2,0

Продолжение таблицы 2.4

1	2	3	4	5	6
6	Взлет (разбег, набор высоты и разворот на курс) при высоте полета до участка, м: 50 100 150	0,8 1,2 1,6	0,9 - -	0,8 - -	0,6 - -
7	Посадка (разворот с курса, планирование и пробег) при высоте полета с участка, м: 50 100 150	0,3 0,7 1,1	0,9 - -	0,8 - -	0,6 - -
8	Разворот для повторного захода на гон при крене 30 град.: челночный способ обработки при высоте полета над участком, м: 5 10 20 30 50	1,6 1,5 1,4 1,3 1,0	- - - - -	- - - - -	- - - - -
9	Загонный способ обработки при высоте полета над участком, м: 5 10 20 30 50	1,0 0,9 0,8 0,6 0,5	- - - - -	- - - - -	- - - - -
10	Разворот для повторного захода на гон при крене 20 град.: челночный способ обработки при высоте полета над участком, м: 5 10 20 30 50 Загонный способ обработки при высоте полета над участком, м: 5 10 20 30 40 50	2,3 2,2 2,1 2,0 1,7 1,2 1,1 1,0 0,9 0,8	1,3 1,2 1,1 0,9 - 1,0 0,9 0,8 0,6 -	1,1 1,0 1,0 0,8 - 0,9 0,8 0,7 0,5 -	1,0 0,8 0,7 0,6 - 0,8 0,7 0,6 0,4 -
11	Заправка топливом (включая руление к месту заправки и обратно, слив топлива) Подготовительное и заключительное время (подготовка к полетам, выруливание к месту загрузки, заруливание на стоянку, технический уход после полетов): - весной, летом, осенью; - ранней весной, поздней осенью.	25 55 70	25 55 -	25 55 -	15 40 -

Продолжение таблицы 2.4

1	2	3	4	5	6
12	Технико-эксплуатационные нормативы скорости полета, км/ч: - при опрыскивании с отклоненными на 5^0 закрылками - при опрыскивании без отклонения закрылков - при опыливание - при рассеве удобрений и отравленных приманок - при перелетах к участку и обратно - при наборе высоты	150 160 160 160 155 140	- 0-120 0-120 40-140 100 80	- 25-105 25-105 25-105 100 80	- 20-120 20-120 20-120 120 120
13	Средняя вертикальная скорость при наборе высоты для разворота, м/с	2,4	2,5	2,5	2,8
14	Минимальная высота полета при развороте, м	50	30	30	30
15	Максимальная величина крена при развороте, град.	30	20	30	35
16	Максимальная загрузка химикатами, кг	1370	700	603	1000

Математическая модель рационального выбора СЛА представляет собой формализованное описание критерия качества, условий обеспечивающих выполнения заданных функций СЛА при внесении химических веществ, требований предъявляемых к отдельным характеристикам и параметрам. Именно в формировании математической модели заключается постановка задачи рационального выбора СЛА, который предшествует определению цели и соответствующего критерия оптимизации.

Математическая модель состоит из целевой функции, ограничений и переменных. На первом этапе разработки математической модели рационального выбора СЛА основной проблемой постановки задачи — формулировка целевой функции (ЦФ). Все выходные параметры являются функциями внутренних параметров и, следовательно, не могут изменяться независимо друг от друга. Среди них всегда можно найти такие параметры, что улучшение одного из них приводит к ухудшению другого. Такие параметры называются конфликтными.

Если среди выходных параметров можно выделить параметр, наиболее важный и наиболее полно характеризующий свойства объекта, то его и принимают за ЦФ, это частный критерий. В большинстве частных критериев в качестве ЦФ принимают один из выходных параметров, все остальные выходные параметры в виде соответствующих условий работоспособности

относят к ограничениям. В большинстве случаев отдать предпочтение одному среди качественно разнородных величин довольно трудно, поэтому прибегают к построению комплексного критерия, при котором ЦФ объединяет все или большинство выходных параметров. Рассмотрим наиболее распространенные из комплексных критериев.

Мультипликативные критерии. Применяются в тех случаях, когда в технологическом процессе отсутствуют условия работоспособности типа равенства и выходные параметры не могут принимать нулевые значения.

Тогда ЦФ, подлежащая максимизации, имеет вид

$$f(x) = \prod_{j=1}^g y_j^+(x) / \prod_{i=j+1}^n y_i^-(x), \quad (2.9)$$

где «+» — ограничения, при которых необходимо максимальное увеличение функции;

«-» — ограничения, при которых необходимо минимизировать функцию.

Удобство этого критерия в том, что не требуется нормирования.

Аддитивные критерии. В аддитивных критериях целевая функция образуется путем сложения выходных параметров, преобразованных к безразмерным слагаемым. Это осуществляется с помощью введения нормирующих множителей — весовых коэффициентов. Нормирование необходимо для объединения нескольких выходных параметров, имеющих в общем случае различную физическую размерность, ЦФ имеет вид

$$f(x) = \sum_{j=1}^m \omega_j \cdot y_j(x), \quad (2.10)$$

где ω_j — весовой коэффициент.

Статистические критерии. Оптимизация имеет целью получения максимальной вероятности «Р» выполнения условий работоспособности. Эту вероятность и принимают в качестве ЦФ. Например, применение статистического критерия позволяет добиться наименьшего процента невнесения (снос, рассеивание) химических веществ, т.е. получить максимальную эффективность от внесения химических веществ.

Максимальные (минимальные) критерии. Введем количественную оценку степени выполнения j -го условия работоспособности, обозначим ее через z_j и назовем запасом работоспособности параметра y_j . Расчет выполнения АР по j -му выходному параметру можно выполнить различными способами, например

$$z_j = a_j \cdot (((T \cdot T_j - y_{j_ном}) / \delta_j) - 1), \quad (2.11)$$

где a_j — весовой коэффициент;

$y_{j_ном}$ — номинальное значение j -го выходного параметра;

δ_j — величина, характеризующая разброс j -го выходного параметра.

Если в качестве целевой функции рассматривается выполнение по внесению химических веществ того выходного параметра, который в данной точке x является наихудшим с позиции выполнения требований ТЗ, то

$$f(x) = \min z_j(x), \quad (2.12)$$

где $1 \leq j \leq m$,

m — количество запасов работоспособности.

Поэтому ставится задача о выборе такой стратегии поиска x , которая максимизировала бы минимальный из вероятности выполнения по внесению химических веществ, т.е.

$$\max f(x) = \max \min z_j(x), \quad (2.13)$$

где $1 \leq j \leq m$, $x \in XD$;

XD — допустимая для поиска область.

Задача выбора СЛА в рамках внесения химических веществ в некоторых случаях можно сформулировать как задачу безусловной оптимизации (без ограничений), но наиболее типичной является условия оптимизации, дающая условие целевой функции при наличии ограничений.

В зависимости от диапазона исследования различают методы локальной и глобальной оптимизации, которые могут и не совпадать.

В зависимости от порядка используемых производных целевой функции по управляемым параметрам методы оптимизации делят на методы нулевого, первого и второго порядков. В методах нулевого порядка (прямых методах) информация о производных не используется. Для методов первого порядка необходимо вычислять как значение функции качества, так и ее первые частные производные (градиентные методы). В методах второго порядка организация поиска экстремума ведется с учетом значений целевой функции, ее первых и вторых производных.

В зависимости от количества управляемых параметров ЦФ различают методы одномерного и многомерного поиска. В зависимости от вида математической модели при решении задач рационального выбора СЛА по внесению химических веществ можно использовать следующие методы: исследование функций классического анализа; метод множителей Лагранжа; вариационное исчисление; динамическое программирование; нелинейное программирование; линейное программирование и т.д., мы будем использовать метод линейного программирования.

В отличие от градиентных, методы поисковой оптимизации хорошо программируются и требуют меньших затрат машинного времени. Для них характерен выбор направления поиска оптимума по результатам последовательных вычислений ЦФ. По способу точки испытаний ЦФ поисковые методы оптимизации делятся на детерминированные методы поиска и методы случайного поиска. В детерминированных методах переход их

предыдущей точки в последующую происходит в соответствии с некоторым алгоритмом, определяющим тот или иной метод. В методах случайного поиска в этот процесс вносится некоторый элемент случайности.

На втором этапе разработки математической модели рационального выбора СЛА выявляем характеристики, влияющие на процесс, и определяем вид функциональной зависимости параметров этих характеристик. После чего определяем параметрические, дискретизирующие и функциональные ограничения, накладываемые на параметры исследуемого процесса, для обеспечения заданных функций.

Параметрическими называются ограничения вида

$$x_{i/} \leq x_i \leq x_{i//}, \quad (2.14)$$

где x_i — i -й параметр технического объекта;

$x_{i/}$, $x_{i//}$ — соответственно min и max допустимые значения i -го параметра.

Дискретизирующие ограничения имеют вид

$$x_j = \{x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jm}\}, \quad (2.15)$$

где x_j — j -й параметр СЛА;

x_{jk} — допустимые значения j -го параметра ($k=1,2,\dots,m$).

Эти ограничения накладывают на значение параметров либо в связи с их физической сущностью.

Функциональные ограничения, накладываемые на параметры объектов, представляют собой условия связи их значений, эти ограничения имеют вид

$$g_i(x) \leq 0, \quad (2.16)$$

$$g_j(x)=0, \quad (2.17)$$

$$g_k(x)<0. \quad (2.18)$$

Функциональными ограничениями при рациональном выборе СЛА могут быть условия: вид и объем работ; метод внесения; дальность и высота перелета, высота обработки и т.д. Эти условия обеспечивают желаемые значения тех или иных технических характеристик и экономических показателей.

Определение ограничений является ответственным этапом в процессе постановки и решения задач рационального выбора СЛА. Не учёт каких-либо ограничений может привести к таким нежелательным эффектам, как преждевременный выход из строя СЛА или низкое значение технико-экономических показателей и других характеристик объекта. Вместе с тем, избыточные ограничения повышают сложность модели, используемых алгоритмов и методов решения задач, а также увеличивают расходы.

При постановке задач рационального выбора СЛА необходим анализ совместимости параметрических, дискретизирующих и функциональных ограничений. При этом, если окажется, что допустимое подпространство выбора СЛА «Д» является пустым множеством, то следует пересмотреть ограничения и выявить противоречия. Поиск оптимальных решений возможен, если «Д» содержит хотя бы две точки. Таким образом, задачу рационального выбора СЛА формулируют следующим образом. Найти такое $x^* \in D$, для которого $f(x^*) = \min_{x \in D} f(x)$. Найденное в результате решения задачи x^* называют оптимальным решением, а $f(x^*)$ — оптимальным значением критерия оптимальности.

При выборе рационального типа СЛА структура математической модели при внесении химических веществ состоит из отдельного множества характеристик. Выделяем отдельно:

- характеристики СЛА;
- характеристики внесения химических веществ;

- характеристики эксплуатации (наземный комплекс).

Используя данный структурообразующий принцип, возможно, сформировать структуру математической модели внесения химических веществ, с выделением общего критерия, рисунок 2.4.

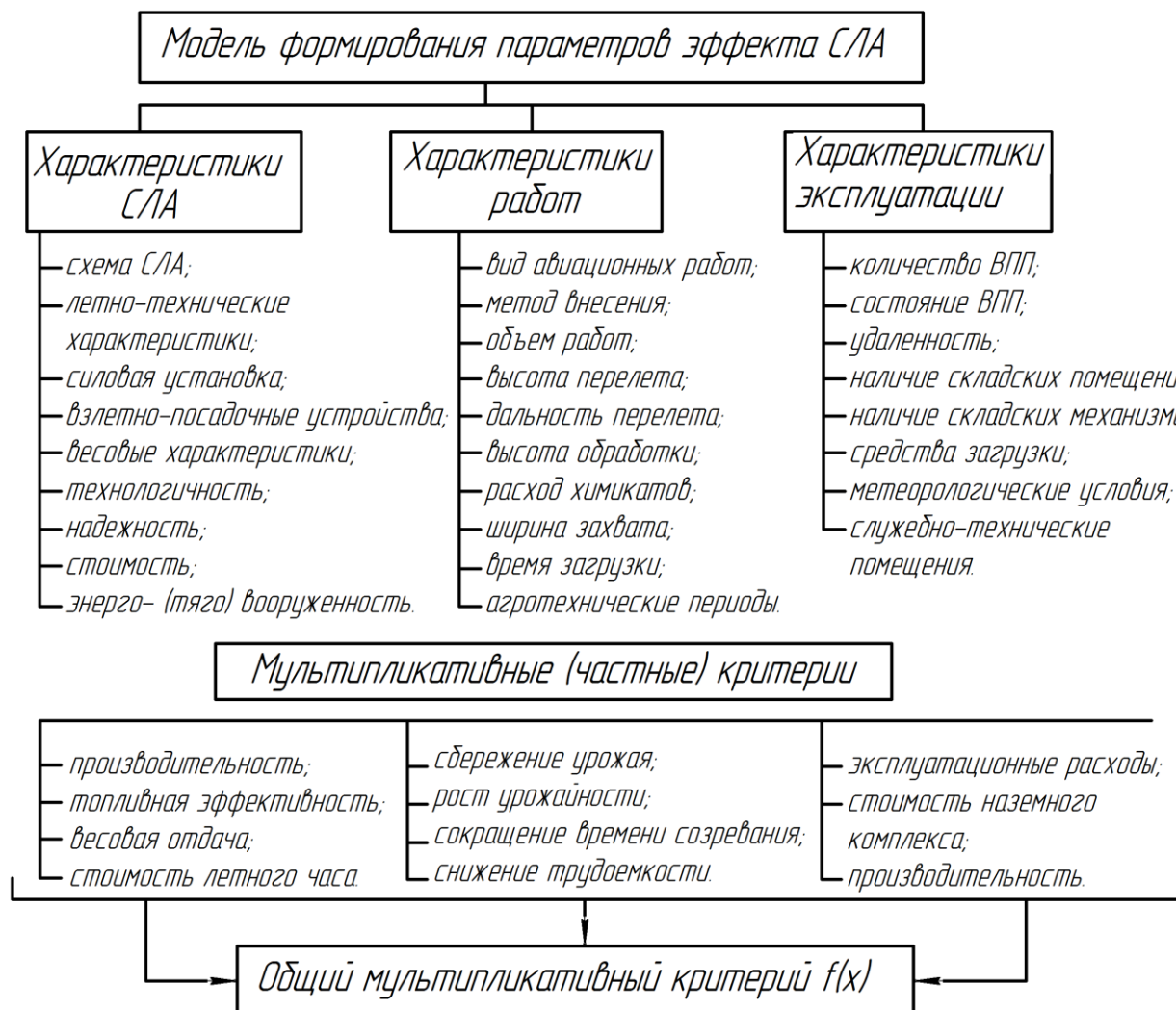


Рисунок 2.4 — Структурная схема формирования рационального типа СЛА

В качестве ограничений могут выступать географические, метеорологические факторы, летно-технические характеристики СЛА, таблица 2.5.

При выборе рационального типа СЛА при внесении химических веществ необходимо решить и организационные вопросы, которые включает в себя комплекс мероприятий как непосредственно связанных с проведением производственных полетов, так и косвенных:

- подготовку наземного комплекса;

- отсутствие ВПП с покрытием, из-за чего, вследствие размокания грунтовых полос весной и осенью, упускаются наилучшие сроки внесения химических веществ;

- наличие ветра в предутренние часы, характерные для региона, требует создания эффективной системы швартовки и охраны СЛА на полевых аэродромах.

Таблица 2.5 — Требования к конструктивным параметрам и эксплуатационным характеристикам вертолетов сельскохозяйственной модификации

Оптимальные показатели	CXB_{max}	CXB_{min}
Загрузка химикатами (грузоподъемность), кг	1500–1700	600–800
Диапазон рабочих скоростей, км/час	80–120	60–110
Весовая отдача, $m_{хморт}/m_0$	$\geq 0,42$	$\geq 0,38$
Скороподъемность ($t=30^{\circ}C$, $p_0=730$ мм.рт.ст., $H=0$), м/с	2,0	2–8
Проходимость (по условной прочности грунта), 10^6 Па	0,3–0,35	0,29
Динамичность (потребное время разворота), С	50–60	40–50
Предельно-допустимая скорость бокового ветра, м/с	7–8	6

К технологическим, климатическим и территориальным особенностям проведения авиационного внесения химических веществ относятся различные факторы, таблица 2.6.

Таблица 2.6 — Технологические данные полетов по уничтожению сорняков в посевах зерновых колосовых культур

Элементы технологии	Применяемые СЛА		
Расход рабочей жидкости, кг/га:	Ан-2	Ка-26	Ми-2
Малообъемное опрыскивание	25	25	25
Ультрамалообъемное опрыскивание	6	6	-
Смесь гербицида с плавом	100	100	100
Смесь гербицида с мочевиной	200	200	200
Ширина рабочего захвата, м:			
- рассев	22	20	20
- опрыскивание 6 кг/га	40	30	-
- опрыскивание от 25 до 100 кг/га	40	30	30
- опрыскивание 200 кг/га	22	30	30
Скорость полета, км/ч:			
- при опрыскивании обычным способом и УМО	150	60	60
- при опрыскивании и расसेве гербицидов с удобрениями	140	60	60
Высота полета, в м:			
- опрыскивание	5		
- рассев	30		

Продолжение таблицы 2.6

Допустимая скорость ветра, м/с: - обычное опрыскивание с жидкими удобрениями - опрыскивание УМО - рассев гранулированных удобрений и гербицидов	4 3 5
Допустимая максимальная t воздуха в период опрыскивания, 0°C : - гербицидами и их смесями с жидкими удобрениями	22

2. Требования к летно-техническим характеристикам, таблица 2.7.

3. Общие требования к вертолету и силовой установке:

- вертолет должен соответствовать «Общим техническим требованиям на разработку объектов авиационной техники»;

- вертолет должен быть оборудован двумя газотурбинными двигателями.

Двигатели должны обладать хорошей приемистостью (от 3 до 4 с). Запуск двигателя должен надежно обеспечиваться от автономного источника питания от 40 до 60 раз в течение летного дня;

- силовая установка должна иметь надежную защиту двигателя от попадания в нее посторонних предметов.

Таблица 2.7 — Специфические требования

Основные летно-технические характеристики	Вертолет с большой грузоподъемностью	Вертолет с малой грузоподъемностью
1	2	3
Максимальная $m_{\text{хм}}$, кг	500–1800	600–800
Запас топлива и масла для обеспечения полета на высоте не более 100 м с рабочей скоростью 80–120 км/ч с АНЗ на 30 минут должен быть не менее чем на, ч	2,0	2,0
Общая емкость топливных баков для выполнения крейсерских режимов полета не менее чем на, ч	4	4
Диапазон $V_{\text{рб}}$, км/ч	80–120	60–100
Скороподъемность у земли при номинальном режиме работы двигателя в расчетных условиях ($T=+30^{\circ}\text{C}$, $p_o = 730$ мм. рт. ст.), м/с	> 4	> 4
Потребные размеры летного поля для взлета и посадки в расчетных условиях, м: - длина площадки (включая две КПБ по 50 м) - ширина площадки (включая две боковые полосы безопасности по 10 м)	150 40	150 40

Продолжение таблицы 2.7

1	2	3
Проходимость вертолета должна характеризоваться условной прочностью грунта (без повреждения дернового покрытия), 10^5 Па	3–3,5	< 3
Потребное время для разворотов на высоте 50 м при повторном заходе на гон (при челночном способе обработки), с	< 50–60	< 40–50
Предельно допустимая скорость бокового ветра для влета и посадки под углом 90° к ВПП, м/с	7–8	6
Состав экипажа — пилот	2	1
Вертолет должен обеспечивать выполнение работ на высоте до, м	1500	1500

4. Требования к конструкции вертолета, материалам, противокоррозионной защите и техобслуживанию.

5. Санитарно-гигиенические требования.

6. Специальное оборудование:

- на вертолете должны быть установлены следующие пилотажно-навигационные приборы и радиосвязное оборудование: барометрический высотомер; радиовысотомер малых высот с ценой деления через один метр до 10 м; автоматический радиокompас; угломерная система для вертолетов большой грузоподъемности; электрический термометр наружного воздуха; вариометр; магнитный компас; курсовая система; авиагоризонт; указатель скорости; часы бортовые; радиостанция УКВ; связная легкоъемная станция (КВ); комплект приборов по контролю двигателя.

7. Электрооборудование.

8. Требования к сельхозаппаратуре:

- вертолет должен иметь следующее сельхозоборудование: аппаратуру для опыливания, аппаратуру для опрыскивания, аппаратуру для разбрасывания отравленных зерновых приманок, а также для производства МО и УМО. Сельхозаппаратура должна быть максимально унифицирована;

- вертолет должен быть оборудован легкоъемной сельхозаппаратурой, обеспечивающей возможность перехода от одного метода авиационных работ к другому при затрате труда не более двух человеко-часов.

Практическая задача заключается в том, чтобы определить наиболее эффективный тип СЛА, но необходимо учесть, что на выбор рациональных вариантов СЛА большое влияние оказывает величина значений параметрического ряда, значит, следует определить их оптимальное количество, обеспечивающее выполнение объемов АР в установленные сроки, а также определить для каждого типа СЛА наиболее рациональное распределение по работам, таблица 2.8.

Таблица 2.8 — Зоны специализации СЛА

Наименование параметра (метод работы)		Диапазон изменения	
		$g_{хм}$, кг/га	l_z , м
Опрыскивание		2–5	800–1300
		5–25	600–1250
		25–35	300–1250
		35–125	200–1000
		>125	>800
Рассев		5–10	1100–1200
		10–25	800–1100
		25–45	600–1000
		45–80	500–800
		>120	>600
Разбрасывание		20–40	600–1300
		40–120	400–1000
		>120	>900
МО и УМО		2–5	200–1300
		5–25	200–1300
Размер поля, га	<10	< 30	<700
	10–350	<35	<1300
	350–700	<35	<1300
	>700	>35	>1300
Дальность перелета, км	<5	<35	700–1300
	5–20	<75	
	>20	>75	
Высота взлетной площадки, м		0–500	
		500–1000	
		1000–1500	
Температура окружающей среды, °C		0–20	
		20–40	
		-15–0	

В рассматриваемой задаче предполагается, что все АР по внесению химических веществ на m полей выполняются в полном объеме, со 100 % загрузкой и с установленной регулярностью полетов [25]. Каждое из этих

полей имеет протяжённость l_i (м) и ширину B_i (м), где i принимает значения от 1 до m . Если i -тое поле имеет отличную форму, от прямоугольной, то за протяжённость l_i принимается средняя по ширине поля протяжённость. При этом площадь каждого поля вычисляем по формуле $F_i = l_i \cdot B_i$, м².

Для АР по внесению химических веществ на эти поля существует возможность использовать один из n типов СЛА, имеющих среднюю скорость V_j (км/ч), ширину захвата, регулируемую в пределах от b_{jmax} до b_{jmin} (м), и время разворота t_{pj} (ч). Известна также стоимость одного часа лётного времени каждого СЛА s_j (р./ч). Здесь j принимает значения от 1 до n . Требуется определить рациональный тип СЛА по критерию минимума расходов для внесения химических веществ на каждое поле и всего набора полей при условии, что весь набор полей будет обрабатываться одним и тем же типом СЛА.

Определение осуществляется в следующей последовательности.

Округляя до большего целого частное от деления B_i на b_{jmax} , находим количество пролётов j -ого СЛА над i -ым обрабатываемым полем N_{ij} .

При этом чтобы исключить двойную обработку части поля корректируется ширина захвата j -того СЛА при обработке им i -того поля

$$b_{ij} = b_{jmax} - \Delta N_{ij} / N_{ij}, \quad (2.19)$$

где ΔN_{ij} — дробная часть частного от деления B_i на b_{jmax} .

В результате суммарная протяженность j -го СЛА при обработке им i -того поля вычисляют по формуле (L_{ij} , м)

$$L_{ij} = l_i \cdot N_{ij}. \quad (2.20)$$

При этом количество часов, затраченное на обработку i -го поля j -ым СЛА вычисляют по формуле (t_{ij} , ч)

$$t_{ij} = t_{pi} \cdot N_{ij} + (L_{ij} / V_j). \quad (2.21)$$

Стоимость обработки i -го поля j -ым СЛА вычисляют по формуле (S_{ij} , р.)

$$S_{ij} = s_j \cdot t_{ij}. \quad (2.22)$$

Тот СЛА, для которого стоимость S_{ij} — минимальна (обозначим её символом S_{ij}^{min}), и будет являться наиболее выгодным в стоимостном отношении для обработки i -го поля.

При варианте АР одного СЛА для обработки всего набора полей, имеющих в хозяйстве, стоимость обработки j -ым СЛА всего набора полей вычисляют по формуле (S_j , р.)

$$S_{ij} = \sum_{i=1}^n S_{ij}. \quad (2.23)$$

Предпочтительным для АР будет j -ый СЛА, стоимость обработки которым всего набора полей имеет наименьшее значение.

Стоимость обработки всего набора полей при АР на каждом поле рациональным СЛА для каждого поля вычисляют по формуле (S_Σ , р.)

$$S_\Sigma = \sum_{i=1}^n S_{ij}^{min}. \quad (2.24)$$

Выбор варианта при АР всех полей СЛА одного типа или набором СЛА, каждый из которых оптимален для данного поля, решается в пользу наименьшей из стоимостей S_j и S_Σ .

В соответствии с изложенной методикой, алгоритм расчёта стоимости АР и выбора рационального типа СЛА при авиационном внесении химических

веществ представлен на рисунке 2.5.

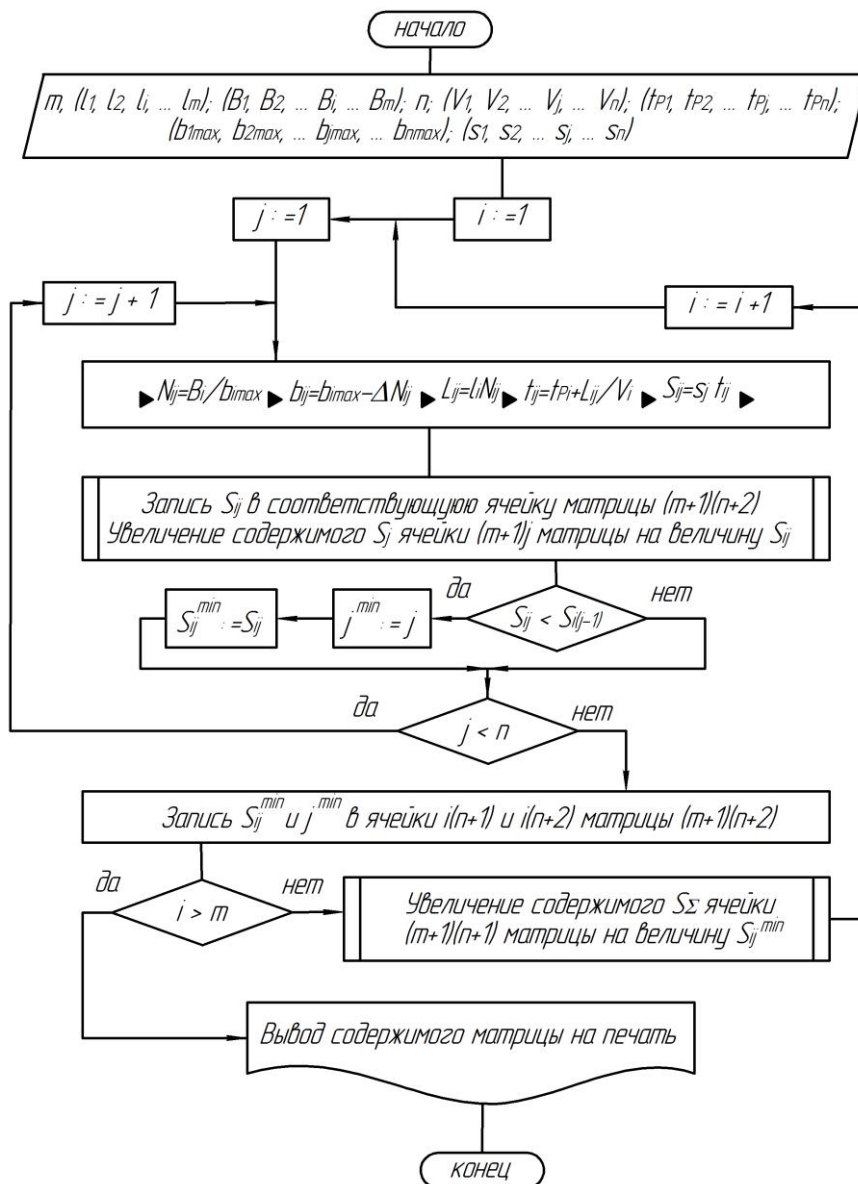


Рисунок 2.5 — Структурная схема выбора рационального СЛА при авиационном внесении химических веществ

Разработанный метод предполагает ответ на следующие вопросы:

- 1) какие типы СЛА необходимо применять для заданного объема внесения химических веществ;
- 2) при каких работах целесообразно использовать каждый тип СЛА.

2.2.3 Построение системы ограничений–неравенств и целевой функции на примере Адамовского района Оренбургской области

В соответствии с изложенной методикой и алгоритмом расчёта расходов в качестве примера произведём выбор типа СЛА из набора, представленного в таблице 2.9 (А.1), по минимуму расходов при авиационном внесении химических веществ на все поля и каждого поля в отдельности с размерами, указанными в таблице 2.10.

Таблица 2.9 — Лётно-технические характеристики СЛА (фрагмент)

j	1	2	3	4	5	6
Тип СЛА	Ан-2	Су-38	Т-115	Ка-226	Ми-2	Р44
V , км/ч	150	140	145	50	40	45
s , р./ч	38000	22500	30000	35000	24500	22000
t_p , мин	1,5	1,3	1,4	1,1	1,3	8
b_{max} , м	31	20	17	39	40	25

Таблица 2.10 — Геометрические параметры исследуемых полей

i	B , м	L_{cp} , м
1	250	400
2	750	2000
3	2000	2500
4	2500	3600

Результаты расчётов стоимости обработки каждого из полей каждым из СЛА, представленных в таблице 2.9, приведены в таблице 2.11.

Таблица 2.11 — Стоимость обработки полей каждым из типов СЛА

j	1	2	3	4	5	6		j_{min}
Тип СЛА	Ан-2	Су-38	Т-115	Ка-226	Ми-2	Р44		
i	S_{i1} , р.	S_{i2} , р.	S_{i3} , р.	S_{i4} , р.	S_{i5} , р.	S_{i6} , р.	S_{ij}^{min} , р.	
1	9462	7173	11741	6451	5430	31288	5430	5
2	36416	30739	50120	40833	33360	117333	30739	2
3	102916	88928	143634	124366	103104	332444	88928	2
4	150822	133258	213834	205508	172357	469333	133258	2
S_j , р.	299617	260100	419331	377160	314253	950400	258357	
		$S_i^{min} \uparrow$					$S_{\Sigma} \uparrow$	

Наиболее выгодным для обработки первого поля является СЛА типа Ми-2 ($S_{15} = 5430$ р.), а для обработки остальных полей — Су-38. Сравнение

расходов на обработку первого, второго, третьего и четвертого полей каждым из СЛА легче всего осуществить, воспользовавшись диаграммами, рисунки 2.6, 2.7.

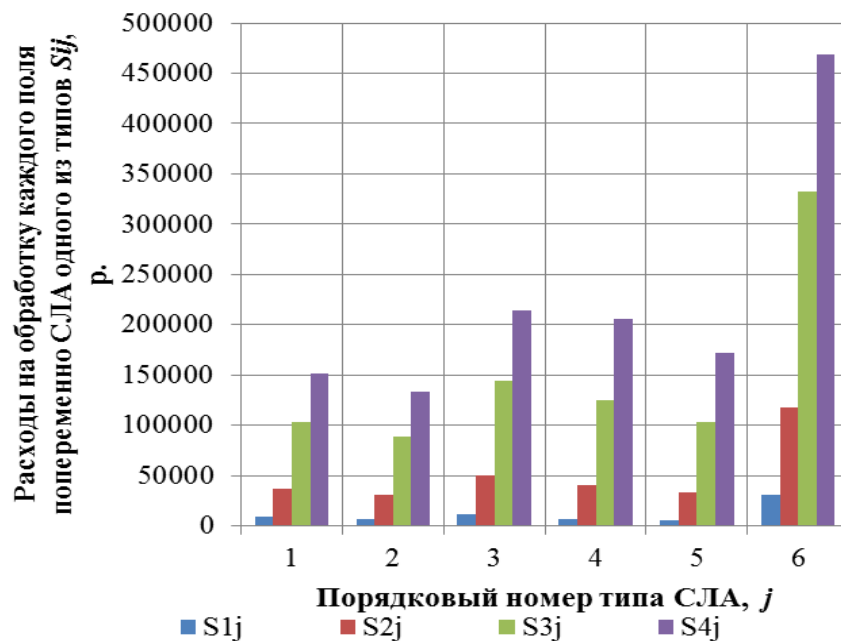


Рисунок 2.6 — Расходы на обработку каждого из полей попеременно каждым из имеющихся СЛА

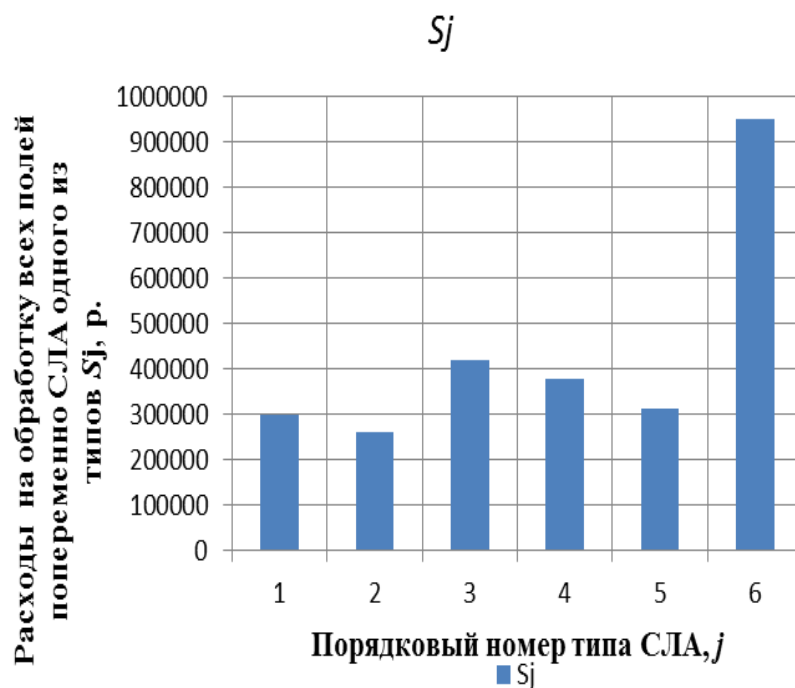


Рисунок 2.7 — Расходы на обработку всех полей попеременно каждым из имеющихся СЛА

Предложенная методика и алгоритм выбора рационального по минимуму расходов СЛА позволяет с помощью разработанной на этой основе программы решить вопрос какие типы СЛА необходимо применять для заданного объема внесения химических веществ на имеющемся наборе полей.

Поскольку рациональными по расходам для каждого поля могут быть СЛА различного типа, а организационно для всех полей желательно заказать СЛА одного и того же типа необходимо учитывать, будут ли оправданы потери от такого упрощения. В нашем примере, таблица 2.11, минимум расходов имеется при обработке полей рациональным для каждого поля СЛА S_{Σ} составляет 258357 рубля, а при обработке одним СЛА $S_i^{\min}$ — 260100 рублей. Целесообразно будет использовать один СЛА, если расходы на его перебазировку к месту проведения работ и обратно не превысят 9743 рубля.

2.2.4 Разработка технического способа построения программного обеспечения, основанного на формализованном описании операционной технологии внесения химических веществ

Разработку технического способа построения программного обеспечения операционной технологии при авиационном внесении химических веществ рассмотрим на модели ЛМС с применением реляционной алгебры при обработке информации баз данных. Под понятием ЛМС понимаем взаимосвязанную совокупность метеорологических характеристик и элементов, обусловленных наличием естественных и техногенных факторов [3; 40].

Разработка модели ЛМС производится исходя из основных положений метода анализа иерархий, условий системности и принципов построения иерархической структуры уровней моделирования процессов и явлений.

ЛМС может быть определено следующим образом:

Метеорологические элементы — измеряемые количественные показатели периодически изменяющихся величин:

- температуры;
- давления;

- влажности воздуха;
- силы и скорости ветра;
- облачности;
- осадков;
- приборной видимости, таблица;

Метеорологические характеристики — количественно—качественные характеристики состояния атмосферы и атмосферных процессов:

- циклонов и антициклонов;
- туманов;
- гроз и т.д.

В метеорологии помимо измеренных значений широко используются и так называемые расчетные. Некоторые из них являются чисто теоретическими величинами. Например, помимо обычного ветра существует понятие эквивалентного ветра, величина которого не может быть измерена непосредственно, а только вычислена. Полученная в результате расчетов величина называется расчетным ветром, всегда направленным вдоль траектории движения СЛА и оказывающим такое же влияние на его путевую скорость, как и фактический ветер.

Известно несколько расчетных температур воздуха:

- эквивалентная;
- потенциальная;
- виртуальная;
- молярная и др.

Эквивалентная температура соответствует той температуре воздуха, которую он имел бы после конденсации всего содержащегося в нем водяного пара при неизменном атмосферном давлении. Потенциальная температура — температура, приведенная по сухоадиабатическому закону (без притока тепла извне) к давлению, равному 1000 гПа. Виртуальная температура — температура сухого воздуха при данном давлении, если бы его плотность была такой же, как и плотность влажного воздуха.

Существуют расчетные значения влажности (абсолютной, удельной, относительной), температуры туманообразования, упругости водяного пара, точки росы. Известны расчетные средние климатические характеристики: суточные; декадные; месячные; сезонные; годовые; экстремальные и др.

Помимо прочего на ЛМС влияют факторы содействия и противодействия, в соответствии с рисунком 2.1.

Модель ЛМС достаточно полно отображает интегрированные в ней компоненты и позволяет сформулировать ряд частных задач, обуславливающих прогнозирование ЛМС.

Необходимость обработки исходной информации о метеорологических характеристиках и метеорологических элементах за достаточно длительные календарные сроки предполагает создание специализированной базы данных (БД). Для обеспечения интерактивного взаимодействия с конечным пользователем БД интегрируется в программную оболочку системы управления базами данных (СУБД), обеспечивающую ввод, вывод и редактирование данных.

Изменение локальных метеорологических состояний находится в непосредственной связи с изменением положения Солнца над земной поверхностью, и как следствие, с ее прогревом, вызывающим ряд сопутствующих эффектов (инверсия, конвекция и т.д.) или атмосферных возмущений (сток охлажденных масс воздуха, испарения).

Атмосферные возмущения оказывают существенное влияние на процесс осаждения вносимого удобрения. Влияние их на осаждение частиц распыленного вещества тем больше, чем меньше осаждающиеся частицы и меньше удельный вес вещества. Однако атмосферные возмущения в границах изучаемого явления в значительной мере являются случайным фактором, который может лишь учитываться при разработке операционной технологии авиационного внесения химических веществ.

Состояние воздушной среды в приземном слое имеет большое значение для внесения химических веществ. Основными элементами локальных

метеорологических состояний, определяющими качество обработки и экологическую безопасность при авиационном внесении химических веществ для окружающей среды, являются ветер, конвекционные потоки, температура и влажность воздуха, выпадающие осадки.

Скорость ветра изменяется в течение суток: наиболее тихими бывают утренние и вечерние часы. Несоблюдение требований по предельно допустимой скорости ветра приводит к снижению качества и эффективности внесения химических веществ, сносу удобрений и загрязнению внешней среды.

Нагревание поверхности земли Солнцем вызывает появление конвекционных восходящих потоков воздуха, которые появляются, когда температура воздуха у земли становится выше, чем на высоте двух метров. Эти потоки препятствуют осадждению на землю мелких капель и пылевидных частиц, а при сильном развитии становятся опасными для полетов на малой высоте.

В горной и холмистой местности следует учитывать возможность стекания воздушных масс вниз по склону и перенос ими паров и мелких частиц химических веществ.

При высокой температуре и низкой относительной влажности воздуха резко возрастают потери химических веществ от испарения. Поэтому мелкокапельное опрыскивание должно прекращаться при температуре 26°C , при относительной влажности воздуха в момент обработки ниже 50 %.

Поведение распыленного пестицида и связанные с ним эффективность обработки, а также и нежелательный снос препаратов, определяются главным образом сочетанием факторов: ветра и турбулентности воздуха.

Инверсия (состояние, когда земля холоднее воздуха) возникает, как правило, ночью при ясной и тихой погоде и разрушается утром при высоте солнца от 10° до 15° над горизонтом. Внешний признак инверсии стелющийся по земле дым или слабый туман в понижениях местности. При этих условиях волна химических веществ не рассеивается и медленно опускается на землю, обеспечивая высокую эффективность обработки. Но эти же условия являются и

наиболее опасными в смысле повреждения химическими веществами расположенных вблизи (в пределах опасной зоны) чувствительных культур.

При ясной погоде после разрушения инверсии, как правило, возникает слабый ветер при конвекции. Такие метеоусловия благоприятны для авиационного внесения химических веществ и наименее опасны для окружающей среды. Однако при проведении внесений удобрений необходимо следить за направлением ветра, т.к. в это время он отличается непостоянством.

Для пасмурного дня характерна изотермия — равенство температур земной поверхности и прилегающего воздуха, что приводит к возникновению слабого ветра спонтанно изменяющихся направлений. Несмотря на то, что эти условия являются промежуточными между инверсией и конвекцией, с точки зрения опасности сноса они ближе к инверсионным. При сильном ветре (более 4 м/с) допускается только рассев минеральных удобрений и зерновых приманок.

По результатам анализа других метеорологических условия, следует отметить, что дождливая погода препятствует производству авиационного внесения химических веществ. Дождь, который прошел ранее, чем через четыре часа после внесения химических веществ смывает их с растений, в результате чего требуется повторное внесение. Однако морозящие дожди в осенний период не препятствуют обработке садовых участков СХВ, т.к. перераспределяют химикаты по кроне дерева сверху вниз. Небольшой дождь также не препятствует рассеvu минеральных удобрений.

Роса не является препятствием для производства внесения химических веществ. Она улучшает растекаемость эмульсий, прилипаемость пылевидных химических препаратов и способствует их перераспределению. Опасение, что добавка рабочей жидкости к росе при опрыскивании вызовет ее стекание, лишено основания. В виде росы на одном гектаре обрабатываемого поля находится две-три тысячи литров воды. Добавка от 25 до 50 л рабочей жидкости существенно не повлияет на состояние росы.

Единственный вид авиационных работ по внесению химических веществ,

при котором наличие росы оказывает влияние на конечный результат — опрыскивание всходов сахарной свеклы бетаналом. Обработка этим гербицидом мокрых растений вызывает краевые ожоги на молодых листочках. При скорости ветра более 4 м/с допускается только рассев минеральных удобрений и зерновых приманок.

Следовательно, практически на все виды агрохимических мероприятий, проводимых с применением авиации сельского хозяйства, решающее влияние оказывает метеорологическая компонента, представленная:

- определенным диапазоном температур почвы и воздуха;
- изменяющимся направлением и силой ветра;
- атмосферным давлением;
- влажностью;
- облачностью;
- рядом сопутствующих процессов и явлений.

Глобальные процессы, происходящие в атмосфере, касаются проведения технологической летной операции лишь в плане соответствия летно–технических характеристик выбранного типоразмера СЛА объективно существующим метеорологическим условиям. То есть, участка траектории, представленного длиной перелета $L_{пер}$.

Наиболее важным представляется учет воздействия метеорологической составляющей непосредственно на процесс внесения химических веществ у подстилающей поверхности, показатели качества которого могут существенно отличаться. Влияние метеорологических условий на процесс внесения связано с физико–химическими свойствами объекта воздействия:

- его агрегатного состояния (твердое, жидкое, газообразное);
- физическими размерами составляющих его частиц;
- его температурой.

2.2.4.1 Применение реляционной алгебры при обработке информации баз данных операционной технологии при авиационном внесении химических веществ

Использование баз данных и информационных систем становится неотъемлемой составляющей деловой деятельности современного общества и функционирования преуспевающих организаций и предприятий. Целью любой информационной системы является обработка данных об объектах реального мира. Реальная база данных — это совокупность сведений о конкретных объектах в какой-либо предметной области. Под предметной областью понимают часть реального мира, подлежащего изучению для организации управления и, в конечном счете, автоматизации.

База данных — хранилище данных, которое обеспечивает реализацию приложений (задач по запросу нужных данных о производстве для пользователя). База данных находится под управлением специализированного программного средства — системы управления базами данных (СУБД) [21]. Применение баз данных в сельском хозяйстве позволяет:

- легко наращивать функции системы, используя ядро данных;
- моделировать функции управления в операционной технологии при авиационном внесении удобрений с помощью информационной модели;
- выполнять анализ компонентов содействия (инверсия, воздушные массы, туман, конвекция), противодействия (географические факторы, метеорологические факторы), сельскохозяйственной информации;
- повысить качество хранимых данных за счет полноты, согласованности и целостности, контроля достоверности вводимой информации;
- исключить в прикладных программах функции непосредственного управления данными на машинных носителях и усилить функции логики обработки данных;
- стандартизировать основные процедуры работы с данными (ввод и редактирование данных, поиск и извлечение данных, формирование отчетов);

расход вычислительных ресурсов.

технологии при авиационном внесении химических веществ основывается на реляционной алгебре, предложенной и разработанной Э.Ф. Коддом [6; 14; 15; 20; 23; 28; 37].

АВИАЦИОННОМ ВНЕСЕНИИ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

каждая из которых состоит из строк и столбцов и имеет имя, уникальное внутри базы данных, приложение Б, рисунок 2.6.

Экспертная система работы с полетными данными

Работа с полетными данными | Меню | База данных

Данные по погодным факторам | Данные о ПА |

Данные по условиям полета | Лексико-технические записи | Нормативы времени | Топки |

Параметры и ЛТХ			
Размерность	Ав	2	18
Тип	нан	1	2
		0	3
		1.6	0
		1.1	0
		3.7	7
Топка	нан	25	25
Топка	нан	70	57
Табла	нан	6.5	4
Трун	нан	1.5	0
туб, не менее	н	5	5
		15	15
		50	30
трав, не менее	н	50	30
туб	мн/н	150	27
трав	мн/н	120	24
КУ	%	8.25	6
Kv	%	1.2	1
Q	0.049	0	0
тнер	н	150	50
тнер	мн/н	140	11
грам	30	30	30
мол макс	кг	1370	70
мелус	кг	3460	28
Рс	мВТ	736	2
гид	шт	1	2
Lmax	км	600	40
Топка (Вт)	н	10000	80
Таван (Па)	н	4000	30
Сво	кг/дмТ	0.36	0
Чел	кг/н	107	10
CV	%	10	10

Экспертная система работы с полетными данными

Работа с полетными данными | Меню | База данных

Данные по погодным факторам | Данные о ПА |

Данные по условиям полета | Лексико-технические записи | Нормативы времени | Топки |

Параметры и ЛТХ			
Размерность	Ав	2	18
Тип	нан	1	2
		0	3
		1.6	0
		1.1	0
		3.7	7
Топка	нан	25	25
Топка	нан	70	57
Табла	нан	6.5	4
Трун	нан	1.5	0
туб, не менее	н	5	5
		15	15
		50	30
трав, не менее	н	50	30
туб	мн/н	150	27
трав	мн/н	120	24
КУ	%	8.25	6
Kv	%	1.2	1
Q	0.049	0	0
тнер	н	150	50
тнер	мн/н	140	11
грам	30	30	30
мол макс	кг	1370	70
мелус	кг	3460	28
Рс	мВТ	736	2
гид	шт	1	2
Lmax	км	600	40
Топка (Вт)	н	10000	80
Таван (Па)	н	4000	30
Сво	кг/дмТ	0.36	0
Чел	кг/н	107	10
CV	%	10	10

Экспертная система работы с полетными данными

Работа с полетными данными | Меню | База данных

Данные по погодным факторам | Данные о ПА |

Данные по условиям полета | Лексико-технические записи | Нормативы времени | Топки |

Параметры и ЛТХ			
Размерность	Ав	2	18
Тип	нан	1	2
		0	3
		1.6	0
		1.1	0
		3.7	7
Топка	нан	25	25
Топка	нан	70	57
Табла	нан	6.5	4
Трун	нан	1.5	0
туб, не менее	н	5	5
		15	15
		50	30
трав, не менее	н	50	30
туб	мн/н	150	27
трав	мн/н	120	24
КУ	%	8.25	6
Kv	%	1.2	1
Q	0.049	0	0
тнер	н	150	50
тнер	мн/н	140	11
грам	30	30	30
мол макс	кг	1370	70
мелус	кг	3460	28
Рс	мВТ	736	2
гид	шт	1	2
Lmax	км	600	40
Топка (Вт)	н	10000	80
Таван (Па)	н	4000	30
Сво	кг/дмТ	0.36	0
Чел	кг/н	107	10
CV	%	10	10

Экспертная система работы с полетными данными

Работа с полетными данными | Меню | База данных

Данные по погодным факторам | Данные о ПА |

Данные по условиям полета | Лексико-технические записи | Нормативы времени | Топки |

Параметры и ЛТХ			
Размерность	Ав	2	18
Тип	нан	1	2
		0	3
		1.6	0
		1.1	0
		3.7	7
Топка	нан	25	25
Топка	нан	70	57
Табла	нан	6.5	4
Трун	нан	1.5	0
туб, не менее	н	5	5
		15	15
		50	30
трав, не менее	н	50	30
туб	мн/н	150	27
трав	мн/н	120	24
КУ	%	8.25	6
Kv	%	1.2	1
Q	0.049	0	0
тнер	н	150	50
тнер	мн/н	140	11
грам	30	30	30
мол макс	кг	1370	70
мелус	кг	3460	28
Рс	мВТ	736	2
гид	шт	1	2
Lmax	км	600	40
Топка (Вт)	н	10000	80
Таван (Па)	н	4000	30
Сво	кг/дмТ	0.36	0
Чел	кг/н	107	10
CV	%	10	10

Экспертная система работы с полетными данными

Работа с полетными данными | Меню | База данных

Данные по погодным факторам | Данные о ПА |

Данные по условиям полета | Лексико-технические записи | Нормативы времени | Топки |

Параметры и ЛТХ			
Размерность	Ав	2	18
Тип	нан	1	2
		0	3
		1.6	0
		1.1	0
		3.7	7
Топка	нан	25	25
Топка	нан	70	57
Табла	нан	6.5	4
Трун	нан	1.5	0
туб, не менее	н	5	5
		15	15
		50	30
трав, не менее	н	50	30
туб	мн/н	150	27
трав	мн/н	120	24
КУ	%	8.25	6
Kv	%	1.2	1
Q	0.049	0	0
тнер	н	150	50
тнер	мн/н	140	11
грам	30	30	30
мол макс	кг	1370	70
мелус	кг	3460	28
Рс	мВТ	736	2
гид	шт	1	2
Lmax	км	600	40
Топка (Вт)	н	10000	80
Таван (Па)	н	4000	30
Сво	кг/дмТ	0.36	0
Чел	кг/н	107	10
CV	%	10	10

Экспертная система работы с полетными данными

Работа с полетными данными | Меню | База данных

Данные по погодным факторам | Данные о ПА |

Данные по условиям полета | Лексико-технические записи | Нормативы времени | Топки |

Параметры и ЛТХ			
Размерность	Ав	2	18
Тип	нан	1	2
		0	3
		1.6	0
		1.1	0
		3.7	7
Топка	нан	25	25
Топка	нан	70	57
Табла	нан	6.5	4
Трун	нан	1.5	0
туб, не менее	н	5	5
		15	15
		50	30
трав, не менее	н	50	30
туб	мн/н	150	27
трав	мн/н	120	24
КУ	%	8.25	6
Kv	%	1.2	1
Q	0.049	0	0
тнер	н	150	50
тнер	мн/н	140	11
грам	30	30	30
мол макс	кг	1370	70
мелус	кг	3460	28
Рс	мВТ	736	2
гид	шт	1	2
Lmax	км	600	40
Топка (Вт)	н	10000	80
Таван (Па)	н	4000	30
Сво	кг/дмТ	0.36	0
Чел	кг/н	107	10
CV	%	10	10

Экспертная система работы с полетными данными

Работа с полетными данными | Меню | База данных

Данные по погодным факторам | Данные о ПА |

Данные по условиям полета | Лексико-технические записи | Нормативы времени | Топки |

Параметры и ЛТХ			
Размерность	Ав	2	18
Тип	нан	1	2
		0	3
		1.6	0
		1.1	0
		3.7	7
Топка	нан	25	25
Топка	нан	70	57
Табла	нан	6.5	4
Трун	нан	1.5	0
туб, не менее	н	5	5
		15	15
		50	30
трав, не менее	н	50	30
туб	мн/н	150	27
трав	мн/н	120	24
КУ	%	8.25	6
Kv	%	1.2	1
Q	0.049	0	0
тнер	н	150	50
тнер	мн/н	140	11
грам	30	30	30
мол макс	кг	1370	70
мелус	кг	3460	28
Рс	мВТ	736	2
гид	шт	1	2
Lmax	км	600	40
Топка (Вт)	н	10000	80
Таван (Па)	н	4000	30
Сво	кг/дмТ	0.36	0
Чел	кг/н	107	10
CV	%	10	10

Экспертная система работы с полетными данными

Работа с полетными данными | Меню | База данных

Данные по погодным факторам | Данные о ПА |

Данные по условиям полета | Лексико-технические записи | Нормативы времени | Топки |

Параметры и ЛТХ			
Размерность	Ав	2	18
Тип	нан	1	2
		0	3
		1.6	0
		1.1	0
		3.7	7
Топка	нан	25	25
Топка	нан	70	57
Табла	нан	6.5	4
Трун	нан	1.5	0
туб, не менее	н	5	5
		15	15
		50	30
трав, не менее	н	50	30
туб	мн/н	150	27
трав	мн/н	120	24
КУ	%	8.25	6
Kv	%	1.2	1
Q	0.049	0	0
тнер	н	150	50
тнер	мн/н	140	11
грам	30	30	30
мол макс	кг	1370	70
мелус	кг	3460	28
Рс	мВТ	736	2
гид	шт	1	2
Lmax	км	600	40
Топка (Вт)	н	10000	80
Таван (Па)	н	4000	30
Сво	кг/дмТ	0.36	0
Чел	кг/н	107	10
CV	%	10	10

Экспертная система работы с полетными данными

Работа с полетными данными | Меню | База данных

Данные по погодным факторам | Данные о ПА |

Данные по условиям полета | Лексико-технические записи | Нормативы времени | Топки |

Параметры и ЛТХ			
Размерность	Ав	2	18
Тип	нан	1	2
		0	3
		1.6	0
		1.1	0
		3.7	7
Топка	нан	25	25
Топка	нан	70	57
Табла	нан	6.5	4
Трун	нан	1.5	0
туб, не менее	н	5	5
		15	15
		50	30
трав, не менее	н	50	30
туб	мн/н	150	27
трав	мн/н	120	24
КУ	%	8.25	6
Kv	%	1.2	1
Q	0.049	0	0
тнер	н	150	50
тнер	мн/н	140	11
грам	30	30	30
мол макс	кг	1370	70
мелус	кг	3460	28
Рс	мВТ	736	2
гид	шт	1	2
Lmax	км	600	40
Топка (Вт)	н	10000	80
Таван (Па)	н	4000	30
Сво	кг/дмТ	0.36	0
Чел	кг/н	107	10
CV	%	10	10

Экспертная система работы с полетными данными

Работа с полетными данными | Меню | База данных

Данные по погодным факторам | Данные о ПА |

Данные по условиям полета | Лексико-технические записи | Нормативы времени | Топки |

Параметры и ЛТХ			
Размерность	Ав	2	18
Тип	нан	1	2
		0	3
		1.6	0
		1.1	0
		3.7	7
Топка	нан	25	25
Топка	нан	70	57
Табла	нан	6.5	4
Трун	нан	1.5	0
туб, не менее	н	5	5
		15	15
		50	30
трав, не менее	н	50	30
туб	мн/н	150	27
трав	мн/н	120	24
КУ	%	8.25	6
Kv	%	1.2	1
Q	0.049	0	0
тнер	н	150	50
тнер	мн/н	140	11
грам	30	30	30
мол макс	кг	1370	70
мелус	кг	3460	28
Рс	мВТ	736	2
гид	шт	1	2
Lmax	км	600	40
Топка (Вт)	н	10000	80
Таван (Па)	н	4000	30
Сво	кг/дмТ	0.36	0
Чел	кг/н	107	10
CV	%	10	10

Экспертная система работы с полетными данными

Работа с полетными данными | Меню | База данных

Данные по погодным факторам | Данные о ПА |

Данные по условиям полета | Лексико-технические записи | Нормативы времени | Топки |

Параметры и ЛТХ			
Размерность	Ав	2	18
Тип	нан	1	2
		0	3
		1.6	0
		1.1	0
		3.7	7
Топка	нан	25	25
Топка	нан	70	57
Табла	нан	6.5	4
Трун	нан	1.5	0
туб, не менее	н	5	5
		15	15
		50	30
трав, не менее	н	50	30
туб	мн/н	150	27
трав	мн/н	120	24
КУ	%	8.25	6
Kv	%	1.2	1
Q	0.049	0	0
тнер	н	150	50
тнер	мн/н	140	11
грам	30	30	30
мол макс	кг	1370	70
мелус	кг	3460	28
Рс	мВТ	736	2
гид	шт	1	2
Lmax	км	600	40
Топка (Вт)	н	10000	80
Таван (Па)	н	4000	30
Сво	кг/дмТ	0.36	0
Чел	кг/н	107	10
CV	%</		

Рисунок 2.6 — Примеры формирования исходных данных

поскольку данные представлены в них не в виде одного файла, а независимыми наборами, и для отбора данных используются операции реляционной алгебры — прикладной теории множеств.

Применим теорию реляционной алгебры к обработке табличной информации управления операционной технологией при авиационном внесении химических веществ с учетом компонентов содействия ЛМС, противодействия и сельскохозяйственных баз данных. Используем связи устанавливающие различные виды соответствия между объектами «связанных» типов, в нашем случае — один ко многим (1:M). Связь один ко многим означает, что каждому экземпляру одного объекта «А» может соответствовать несколько экземпляров другого объекта «В», а каждому экземпляру второго объекта «В» может соответствовать только один экземпляр первого объекта «А».

Группировку атрибутов в отношениях производим на основе минимизации дублирования данных и упрощения процедуры их обработки и обновления, т.к. устранение избыточности данных, обеспечивается нормализацией. Нормализация это формальный аппарат ограничений на формирование таблиц, который позволяет устранить дублирование, обеспечивает непротиворечивость хранимых данных и уменьшает трудозатраты на ведение баз данных.

Процесс нормализации основан на понятии функциональной зависимости атрибутов: атрибут «А» зависит от атрибута «В» ($B \rightarrow A$), если в любой момент времени каждому значению атрибута «В» соответствует не более одного значения атрибута «А». Зависимость, при которой каждый не ключевой атрибут зависит от всего составного ключа и не зависит от его частей, называется полной функциональной зависимостью. Если атрибут «А» зависит от атрибута «В», а атрибут «В» зависит от атрибута «С» ($C \rightarrow B \rightarrow A$), но обратная зависимость при этом отсутствует, то зависимость «С» от «А» называется транзитивной.

Реляционные системы управления базами данных могут быть представлены различными программными продуктами: Paradox, Clarion, FoxPro, Access и т.д. В работе реализация осуществляется в среде Delphi — императивный, структурированный, объектно-ориентированный язык

программирования со строгой статической типизацией переменных, алгебраическое решение задачи представлено в приложении Б. Разработанное программное средство позволяет пользователю создать свою базу данных, использовать информацию из базы данных ресурсов глобальной сети, рисунок 2.7, приложение В, Г, обрабатывать данные с помощью форм, запросов и отчетов и выполнять ряд других работ. Практически для любых работ с базой данных имеется свой мастер, который помогает их выполнять. Например, мастер по созданию форм и отчетов упрощает и ускоряет процесс создания многотабличных форм и отчетов. Мастера по разработке форм и отчетов автоматически создают инструкцию SQL, определяющую источник записей для формы или отчета.

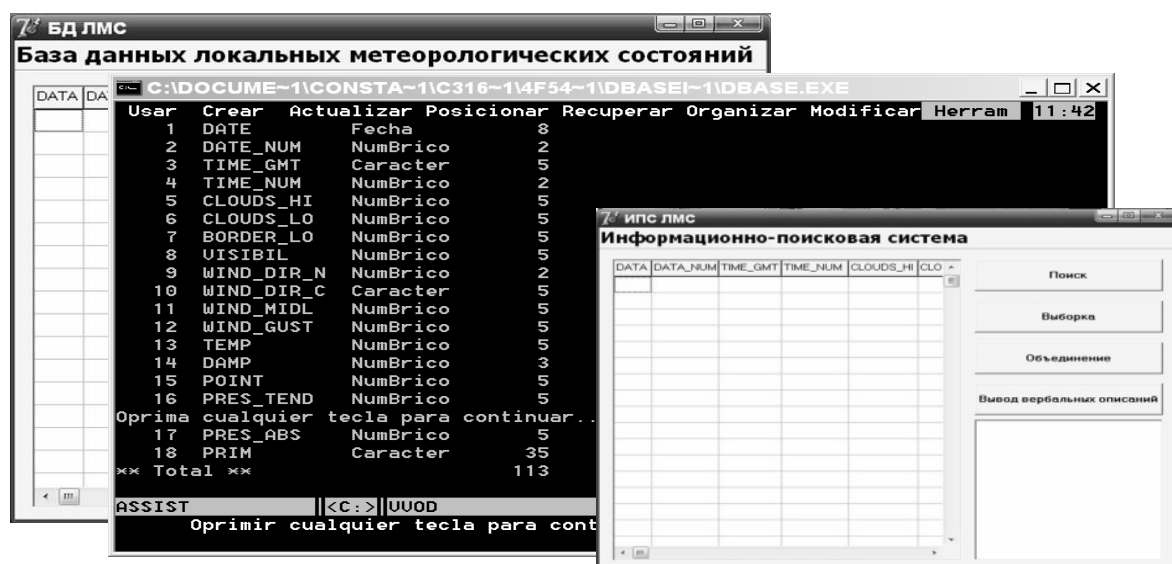


Рисунок 2.7 — Пример базы данных локальных метеорологических состояний

На основе принципиальной и структурной схем, разработана структурно–функциональная схема операционной технологии внесения химических веществ на возделанные сельскохозяйственные культуры с целью повышению качества и урожайности, рисунок 2.8.

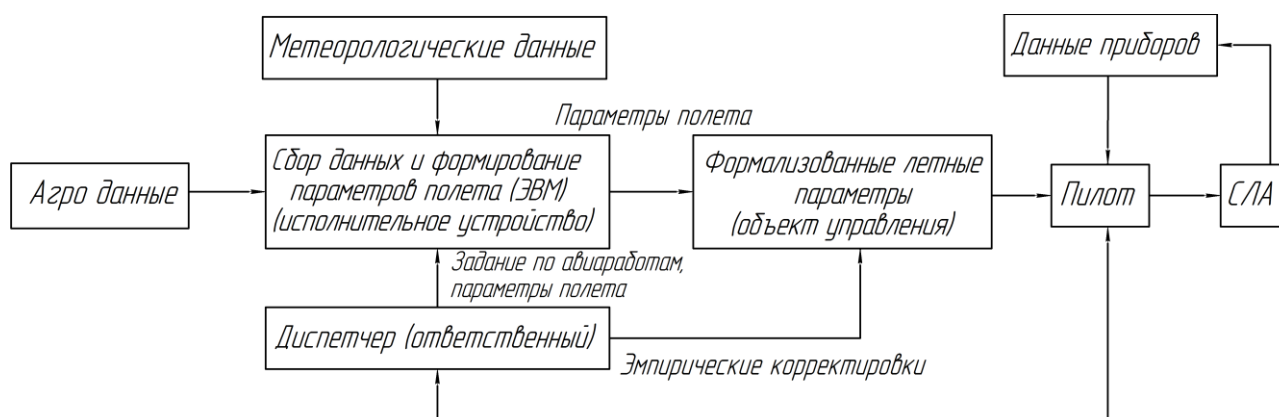


Рисунок 2.8 — Структурно-функциональная схема операционной технологии внесения химических веществ

Структурная часть описывает, какие объекты рассматриваются реляционной моделью. Единственной структурой данных, используемой в реляционной модели, являются нормализованные n -парные отношения.

Целостная часть описывает ограничения специального вида, которые должны выполняться для любых отношений. Это целостность сущностей и целостность внешних ключей.

Манипуляционная часть описывает два способа манипулирования реляционными данными — реляционную алгебру и реляционное исчисление. Основанная на теории множеств реляционная алгебра — формальная система манипулирования отношениями в реляционной модели данных. Наряду с реляционным исчислением, основанным на математической логике, она является способом получения результирующего информационного отношения.

Реляционная алгебра представляет собой набор операторов, использующих отношения в качестве аргументов, и возвращающие отношения в качестве результата

$$R = f(R_1, R_2, \dots, R_n), \quad (2.32)$$

$$R = f(f_1(R_{11}, R_{12}, \dots), f_2(R_{21}, R_{22}, \dots), \dots). \quad (2.33)$$

Теоретико-множественные операторы:

- объединение;
- пересечение;
- вычитание;
- декартово произведение.

Специальные реляционные операторы:

- выборка;
- проекция;
- соединение;
- деление.

Отношения совместимы по типу, если они имеют идентичные заголовки. Отношения имеют одно и то же множество имен атрибутов, т.е. для любого атрибута в одном отношении найдется атрибут с таким же наименованием в другом отношении. Атрибуты с одинаковыми именами определены на одних и тех же доменах.

Объединением двух совместимых по типу отношений «А» и «В» называется отношение с тем же заголовком, что и у отношений «А» и «В», телом, состоящим из кортежей, принадлежащих или «А» или «В», или обоим отношениям, таблица 2.13. При наличии, например, двух таблиц содержащих сведения о компонентах содействия (R_1) процессу авиационного распределения химических веществ и компонентах противодействия (R_2), результатом объединения информации будет полный перечень формализованных летных данных, без повторов записей.

Таблица 2.13 — Объединение информационных отношений

Обозначение	Определение	SQL
$R_1 \cup R_2$	$\{r : r \in R_1 \vee r \in R_2\}$	$r = (R1)union(R2)$

Пересечением двух совместимых по типу отношений и называется отношение с тем же заголовком, что и у отношений «А» и «В», и телом, состоящим из кортежей, принадлежащих одновременно обоим отношениям «А» и «В», таблица 2.14. Результатом процедуры пересечения двух

информационных таблиц будет перечень формализованных летных решений, который содержат и первая, и вторая таблица.

Таблица 2.14 — Пересечение информационных отношений

Обозначение	Определение	SQL
$R_1 \cap R_2$	$\{r : r \in R_1 \wedge r \in R_2\}$	$r = (R1) \text{ intersect } (R2)$

Вычитанием двух совместимых по типу отношений «А» и «В» называется отношение с тем же заголовком, что и у отношений «А» и «В», и телом, состоящим из кортежей, принадлежащих отношению «А» и не принадлежащих отношению «В», таблица 2.15.

Таблица 2.15 — Разность информационных отношений

Обозначение	Определение	SQL
$R_1 - R_2$	$\{r : r \in R_1 \wedge r \notin R_2\}$	$r = (R1) \text{ difference } (R2)$ $r = (R1) \text{ minus } (R2)$

Декартовым произведением двух отношений «А» и «В» называется отношение, заголовок которого является сцеплением заголовков отношений «А» и «В»: $(A_1, A_2, \dots, A_n, B_1, B_2, \dots, B_m)$, а тело состоит из кортежей, являющихся сцеплением кортежей отношений «А» и «В» $(a_1, a_2, \dots, a_n, b_1, b_2, \dots, b_m)$ таких, что $(a_1, a_2, \dots, a_n) \in A$ $(b_1, b_2, \dots, b_m) \in B$, таблица 2.16.

Таблица 2.16 — Декартовое информационное произведение

Обозначение	Определение	SQL
$R_1 \otimes R_2$	$\{(r_1 // r_2) : r_1 \in R_1 \wedge r_2 \in R_2\}$	$r = (R1) \text{ product } (R2)$

Эта процедура позволяет обработать таблицы, не являющиеся однотипными, и результирующее отношение будет содержать все столбцы и все записи исходных таблиц.

Выборкой (ограничением, селекцией) на отношении «А» с условием «С» называется отношение с тем же заголовком, что и у отношения «А», и телом, состоящим из кортежей, значения атрибутов которых при подстановке в условие «С» дают значение ИСТИНА. С представляет собой логическое

выражение, в которое могут входить атрибуты отношения «А» и (или) скалярные выражения, таблица 2.17.

Таблица 2.17 — Выборка

Обозначение	Определение	SQL
$R[A \theta v]$ $R[A_1 \theta A_2]$	$\{r : r \in R \wedge (r[A] \theta v)\}$ $\{r : r \in R \wedge (r[A_1] \theta r[A_2])\}$	$r = select(R)((cond)bool(cond))$

При обработке информации в базе данных это одна из распространенных операций, так как соответствует запросу по условию, созданному средствами системы управления базами данных.

Проекцией отношения «А» по атрибутам $X, Y, \dots, Z$, где каждый из атрибутов принадлежит отношению «А», называется отношение с заголовком $(X, Y, \dots, Z)$ и телом, содержащим множество кортежей вида $(x, y, \dots, z)$, таких, для которых в отношении «А» найдутся кортежи со значением атрибута X равным x , значением атрибута Y равным y , ..., значением атрибута Z равным z , таблица 2.18.

Таблица 2.18 — Проекция информационных отношений

Обозначение	Определение	SQL
$R[A]$	$\{r[A] : r \in R\}$	$r = project(R)(A_1, A_2, \dots, A_n)$

Соединение имеет сходство с декартовым произведением. Однако здесь добавлено условие, согласно которому вместо полного произведения всех строк в результирующее отношение включаются только строки, ему удовлетворяющие. Условие представляет собой логическое выражение, в которое могут входить атрибуты отношений «А» и «В» и (или) скалярные выражения, таблица 2.19.

Таблица 2.19 — Соединение отношений

Обозначение	Определение	SQL
$R_1[A_1 \theta A_2]R_2$	$\{(r_1 // r_2) : r_1 \in R_1 \wedge r_2 \in R_2 \wedge (r_1[A_1] \theta r_2[A_2])\}$	$r = join(R_1)(R_2)$ $((cond)bool(cond))$

Операция соединения имеет большое значение для реляционных таблиц, т.к. в процессе нормализации исходное отношение разбивается на несколько более мелких отношений, которые по запросу пользователя необходимо вновь соединять для получения полной информации [14, 23].

Зависимые реляционные операторы – можно выразить через другие реляционные операторы:

- оператор соединения;
- оператор пересечения;
- оператор деления.

Примитивные реляционные операторы нельзя выразить друг через друга:

- объединение;
- вычитание;
- декартово произведение;
- выборку;
- проекция.

Технология создания целостной базы предполагает упорядочение загрузки взаимосвязанных таблиц с целью обеспечения пользователя удобным интерфейсом, рисунок 2.9.

The image shows a screenshot of a software application titled "Экспертная система работы с полетными данными" (Expert system for working with flight data). It displays several data tables. The first table, "Итерации и воздушные массы" (Iterations and air masses), lists parameters like "Углы бок. доп. н/с / Коэф." and "Угол ветра, град." across multiple rows. The second table, "Географические факторы" (Geographical factors), lists parameters like "Высота, м" and "Давление на высоте, Па, мм рт.ст." across multiple rows. The third table, "Итерации и воздушные массы" (Iterations and air masses), lists parameters like "Плотность воздуха, г, кг/м³" and "Температура, °C" across multiple rows. The fourth table, "Географические факторы" (Geographical factors), lists parameters like "Плотность воздуха, г, кг/м³" and "Температура, °C" across multiple rows. The fifth table, "Итерации и воздушные массы" (Iterations and air masses), lists parameters like "Плотность воздуха, г, кг/м³" and "Температура, °C" across multiple rows. The sixth table, "Географические факторы" (Geographical factors), lists parameters like "Плотность воздуха, г, кг/м³" and "Температура, °C" across multiple rows. The seventh table, "Итерации и воздушные массы" (Iterations and air masses), lists parameters like "Плотность воздуха, г, кг/м³" and "Температура, °C" across multiple rows. The eighth table, "Географические факторы" (Geographical factors), lists parameters like "Плотность воздуха, г, кг/м³" and "Температура, °C" across multiple rows. The ninth table, "Итерации и воздушные массы" (Iterations and air masses), lists parameters like "Плотность воздуха, г, кг/м³" and "Температура, °C" across multiple rows. The tenth table, "Географические факторы" (Geographical factors), lists parameters like "Плотность воздуха, г, кг/м³" and "Температура, °C" across multiple rows.

Рисунок 2.9 — Исходные данные

Данная технология строиться на использовании соответствующих экранных форм, обеспечивающих корректный ввод взаимосвязанных данных, если возникают противоречия, то программа предупреждает об этом, рисунок 2.10.

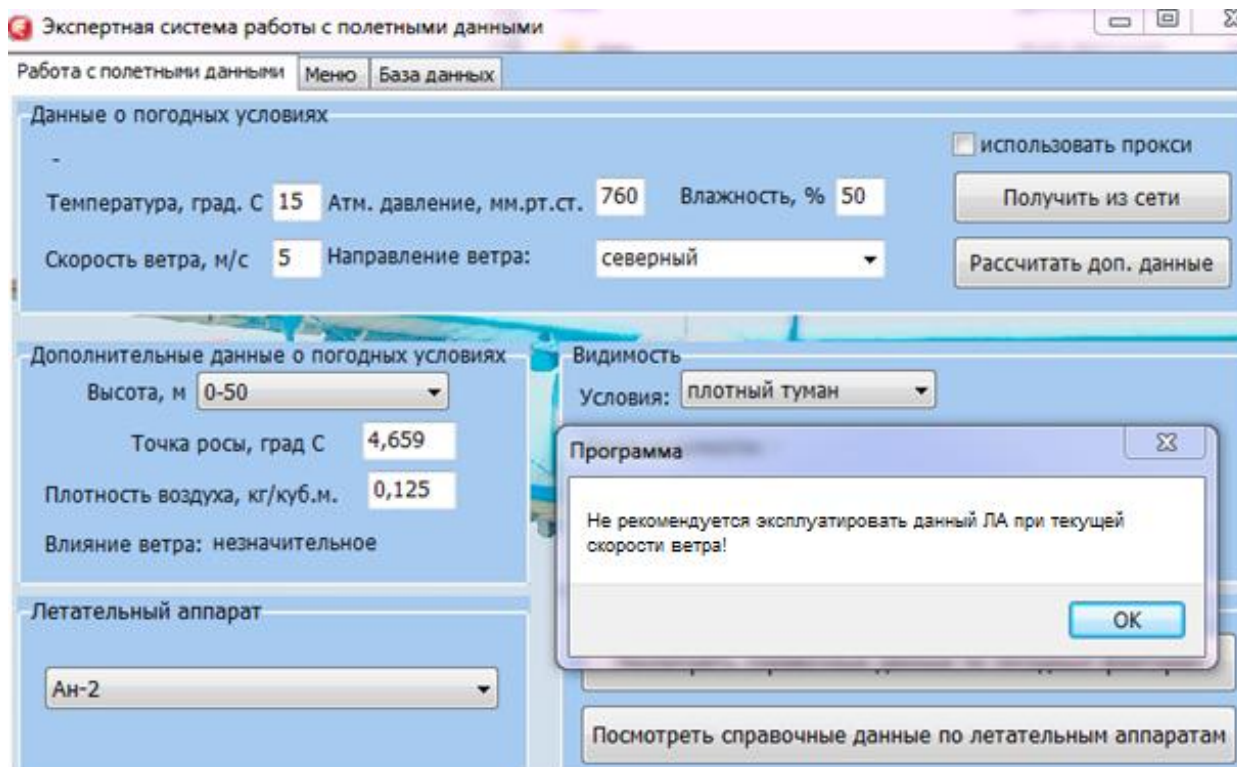


Рисунок 2.10 — Фрагмент противоречивости данных

Структура информации и функционирование операционной технологии авиационного распределения химических веществ в сельском хозяйстве очень сложна и информационные системы ориентированы на хранение, выбор и модификацию постоянно существующей информации. Для правильного понимания выходной информации в виде отчетов или реализации запросов при работе с базой данных необходимо иметь представление о математическом аппарате функционирования информационных таблиц. Правильно спроектированные таблицы на основе теории реляционной алгебры позволяют:

- моделировать функции управления в сельскохозяйственном учете с помощью информационной модели;

- выполнять анализ метеорологической, летной и сельскохозяйственной информации;
- повысить качество хранимых данных за счет полноты, согласованности и целостности, контроля достоверности вводимой информации;
- усилить функции логики обработки данных;
- стандартизировать основные процедуры работы с данными (ввод и редактирование данных, поиск и извлечение данных, формирование отчетов);
- снизить трудозатраты персонала по ведению учета и уменьшить расход вычислительных ресурсов.

3 Методика проведения экспериментальных исследований

3.1 Экспериментальные исследования

Эффективность АР по внесению химических веществ зависит от операционной технологии и конструкции применяемых распылителей и локальных метеорологических состояний. Для проверки достоверности регрессионных моделей на реальных сельскохозяйственных полигонах Адамовского района Оренбургской области были проведены испытания в июне и августе 2014 года. Как известно, дробление жидкости при распылении происходит после некоторого воздействия на нее, после которого поток жидкости переходит в форму пленки, струи, нити и т.д. Распад жидкости в первую очередь происходит из-за неустойчивости течения. В большинстве распылителей истечение жидкости из сопла происходит без направленного преобразования потока жидкости. В струйных распылителях из сопла истекает струя, в центробежных — пленка, которые испытывают возмущения случайного характера.

Механизм распыления представляет собой сложный процесс, в котором решающее значение имеет комплекс явлений, представленных:

- турбулентность выходящего потока;
- капиллярными волнами;
- кавитационными явлениями;
- силами инерции и др.

Цель испытаний. Испытания проводились с целью проверки достоверности регрессионных моделей, влияния периодических локальных состояний на авиационное внесение химических веществ и соответствия характеристик зон высокого качества распыления, по которому на режиме работы с использованием воздуха от набегающего потока на самолете Ан-2 параметры фракционного состава капель, образующихся в результате дробления должны быть (согласно нормативов):

- при расходе жидкости через один распылитель — от 0,3 до 2 л/с Ø от 100 до 250 мкм — 80 %;

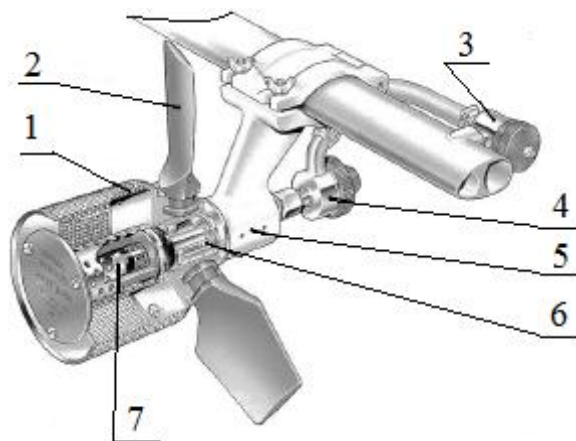
- Ø 50 мкм — не более 2 % по объему.

Объект испытаний. Летная операция на сельскохозяйственных полигонах хозяйства «Чкаловское» Адамовского района. Площадь поля — 500 га, вид АР по внесению химических веществ — подкормка, обрабатываемая культура — яровая пшеница, метод — опрыскивание, шифр — 60–3.

Методика проведения летных испытаний. Для проверки достоверности модели выбран рациональный тип СЛА, рисунок 3.1, под конкретное поле (500 га) сельскохозяйственного полигона «Чкаловское» Адамовского района. Испытания проводились в июне и августе 2014 г, на серийных самолетах «Ан-2», таблица А.1, с укомплектованной штатной сельскохозяйственной аппаратурой — распылительным устройством с крыльчаткой, позволяющей регулировать распылители на штуцере штанги и угол установки распылителя с целью получения ультрамалообъемного внесения веществ, таблица 3.1, рисунок 3.2, вид работы — подкормка (азотные удобрения, рисунок 3.3, 3.4, 3.5), обрабатываемая культура — яровая пшеница, метод обработки — опрыскивание, рисунок 3.6.



Рисунок 3.1 — Размещение распылительного устройства на крыле СЛА



1 — проволоочная сетка; 2 — регулируемые лопасти вентилятора; 3 — регулируемый ограничитель; 4 — мембранный контрольный клапан; 5 — монтажный зажим; 6 — подшипник с уплотнением.

Рисунок 3.2 — Схема распылительного устройства для внесения химических веществ



Рисунок 3.3 — Азотные удобрения



Рисунок 3.4 — Приготовление раствора с азотным удобрением



Рисунок 3.5 — Заправка СЛА раствором с азотным удобрением



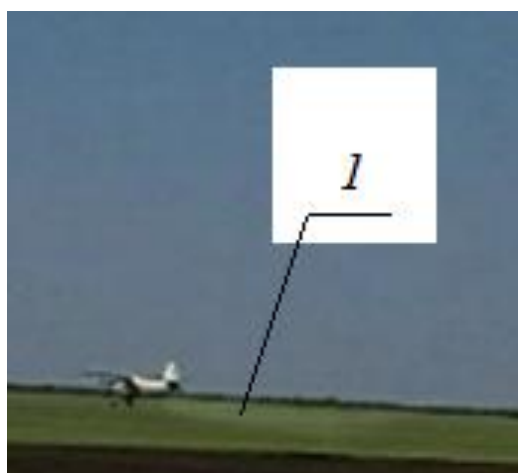
Рисунок 3.6 — Опрыскивание яровой пшеницы

Штатные штанги заменились имитирующими, у которых имелось меньшее число штуцеров. Для облегчения конструкции штанги был использован титановый сплав ОТ-4. Крепление имитирующей штанги осуществлялось штатными узлами сельскохозяйственного оборудования самолета Ан-2.

Крепление распылителей на штанге осуществлялось либо непосредственным креплением распылителей на штуцере штанги тогда требуемый угол установки распылителя достигается поворотом штанги, либо с помощью двух регулируемых тяг.

Обработка данных эксперимента [22; 36]. Обработка данных эксперимента проводилась по следующей методике. По ширине захвата ($Ш_0$)

на поле устанавливались экспонирующие карточки 100×100 мм с размеченными «окошечками» для подсчета количества и расчетов отпечатков капель. По границам ширины захвата ($Ш_0$) и за пределами с определенным шагом (1000 мм) расстилались рулоны экспонирующей бумаги. Кроме того производилось фотографирование вихревых шнуров, рисунок 3.7, по ходу движения СЛА для схематичного изучения поведения вихревых шнуров, проявления сноса химикатов и зон высокого качества внесения (ЗВК).



1 — вихревой шнур

Рисунок 3.7 — Движение СЛА

На каждой экспонируемой карточке по трафаретам, имеющим пять «окошечек» размером 10×10 мм размечались поля для подсчета отпечатков капель. Полученные в результате подсчета отпечатков капли группировались по разрядам диаметров с шагом 50 мкм, и подсчитывалось их количество по карточкам и по разрядам диаметров.

Затем для каждого разряда диаметров отпечатков капель подсчитывался средний объем капли, давшей отпечаток.

Средний диаметр капли брался с учетом коэффициента расплывания капель по бумаге $K = 2$, т.е. для диаметров отпечатков капель от 0 до 50 мкм диаметр для подсчета среднего объема капли брался равным 12,5 мкм.

Далее произведением количества капель на средний объем капли

выявлялся суммарный объем капель данного разряда диаметров отпечатков и общий объем всех капель, давших отпечатки в результате испытания.

Для фиксированного календарного дня (структурированный набор приведен в разделе 3.2), в цифровом формате, времени обработки, верхний и нижний границ облачности, замеренным значением прямой приборной видимости, преобладающего направления и средней скорости ветра, её порывами, значений температуры воздуха, влажности воздуха, точки росы, тенденции изменения давления и абсолютным показанием давления. Делался вывод о соответствии полученных данных модульному и стендовому эксперименту и перспективности выбранного направления построения регрессионных моделей.

3.2 Результаты экспериментальных испытаний

Результат испытаний по определению зон высокого качества распыления оценивались визуально и показали, что наилучшие характеристики распыливания получаются в ранее утреннее время (от 4.00 до 7.00), при скорости бокового без порывов, ветра 0,5 м/с с расходом жидкости 1,2 кг/с при атмосферном давлении от 740 до 750 мм. рт. ст. (пониженном). Результаты приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 — Результаты испытаний дисперсности состава

Разряды капель, мкм	Состав в полете, %	Требования
от 56 до 100	4,4	< 10 %
от 100 до 200	22,0	< 25 %
от 200 до 300	13,2	< 15 %
от 300 до 400	13,2	< 15 %
от 400 до 500	39,9 (95,3)	> 70 %
от 500 до 600	6,5	< 20 %
от 600 до 700	3,4	
от 700 до 800	0,4	
Данные с учетом коэффициента распыливания по фотобумаге		

где n — количество i -го разряда;

W — объем капель i -го разряда;

d — диаметр капель;

$i = 1-12$ (двенадцать разрядов).

Примечание. В таблицах приведены фактические размеры отпечатков капель по размерам, все остальные параметры капель определялись с учетом коэффициента распыления $K = 2$.

Ниже фрагментально приведены результаты испытаний, гистограммы частот распределения капель, представленные на рисунках 3.8, 3.10, 3.11 и таблицах 3.2 и 3.3 параметров фракционного состава капель распылителей для неоптимальных локальных метеоусловий (22.06.14) и для оптимальных (26.06.14).

22.06.14, полет 9, заход 1.

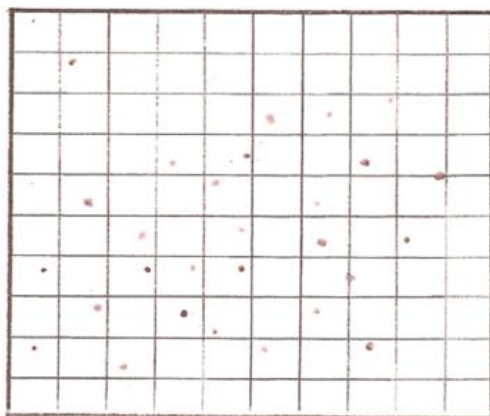


Рисунок 3.8 — Темплеты экспонированных карточек

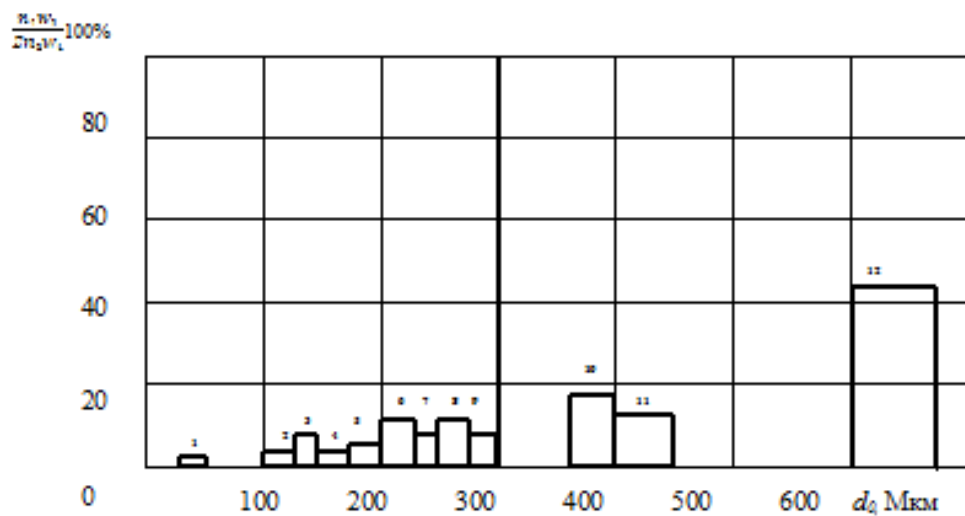
В результате испытания капли $\varnothing 50$ мкм и менее составляли 0,042 % (по объему), $\varnothing$ от 100 до 150 мкм — 17,150 % (по объему), ЗВК ~ 44 %.

Таблица 3.2 — Параметры состава капель 22.06.14, полет 9, заход 1

Диаметры отпечатков капель, мкм.	Количество отпечатков капель						Средний объем капли $\times 10^6$ мкм ³	Объем капли	
	2	3	4	5	6	всего		$\times 10^6$ мкм ³	%
№ карты	2	3	4	5	6	7	8	9	10
от 0 до 100						-	-	-	-
от 101 до 150				1		1	0,128	0,128	0,042
от 151 до 200						-	-	-	-
от 201 до 250	3					3	0,746	2,238	0,728
от 251 до 300	5	4				9	1,361	12,249	3,983
от 301 до 350		1				1	2,246	2,246	0,730

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
от 351 до 400		2				2	3,451	6,902	2,245
от 401 до 450		1	2			3	5,024	15,072	4,902
от 451 до 500			2			2	7,014	14,028	4,562
от 501 до 550			2			2	9,471	18,942	6,160
от 551 до 600			1			1	12,443	12,443	4,047
от 601 до 700						-	-	-	-
от 701 до 800				2		2	27,612	55,224	17,969
от 801 до 900				1		1	40,194	40,194	13,071
от 901 до 1200						-	-	-	-
от 1201 до 1300					1	1	127,831	127,831	41,571
ИТОГО:	8	8	7	4	1	28		307,497	100,000



1 — 0,042 %; 2 — 0,728 %; 3 — 3,983 %; 4 — 0,730 %; 5 — 2,245 %; 6 — 4,902 %; 7 — 4,502 %; 8 — 6,160 %; 9 — 4,502 %; 10 — 17,959 %; 11 — 13,071 %; 12 — 41,571 %

Рисунок 3.9 — Гистограмма распределения капель ГДИ-0,23, 22.06.14, полет 9

26.06.14, полет 7, заход 1

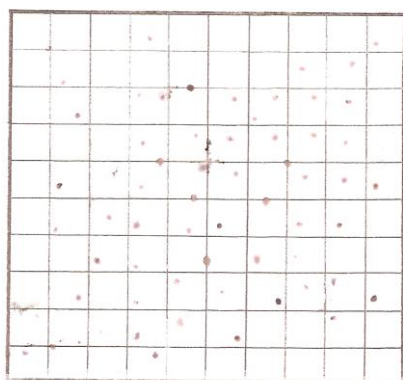


Рисунок 3.10 — Темплеты экспонированных карточек.

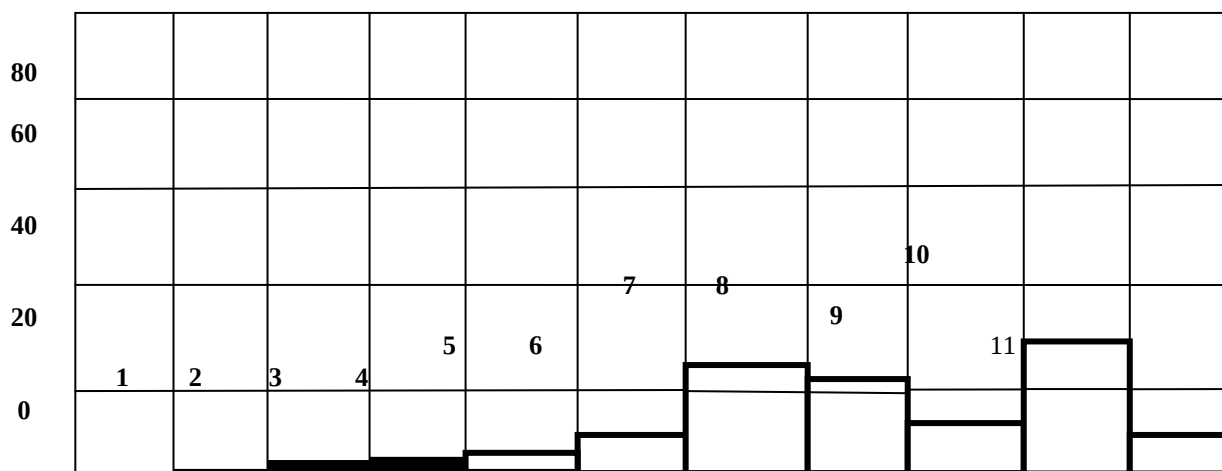
В результате испытания капли Ø 50 мкм и менее составляли 0,018 % (по

объему), Ø от 100 до 250 мкм — 93,296 % (по объему), ЗВК~ 62 %.

Таблица 3.3 — Параметры состава капель, 26.06.14, полет 7, заход 1

Диаметры отпечатков капель, мкм.	Количество отпечатков капель						Средний объем капли $\times 10^6$ мкм ³	Объем капли	
	№ карты	4	5	6	7	8		$\times 10^6$ мкм ³	%
от 0 до 50		2					0,001	0,002	0,001
от 51 до 100		1					0,028	0,028	0,017
от 101 до 150		2	1				0,128	0,384	0,235
от 151 до 200		2	1				0,351	1,053	0,645
от 201 до 250		5				1	0,746	4,476	2,743
от 251 до 300		7	3	1			1,361	14,971	9,175
от 301 до 350		3	9	7			2,246	42,693	26,165
от 351 до 400			5	6			3,451	37,961	23,265
от 401 до 450				2			5,024	10,048	6,158
от 451 до 500			2	4			7,014	42,084	25,790
от 501 до 550				1			9,471	9,471	5,804
ИТОГО:		22	21	21		1	65		100,000

$$\frac{n_i w_i}{\sum n_i w_i} \quad 100\%$$



1 — 0,001%; 2 — 0,017 %; 3 — 0,235 %; 4 — 0,645 %; 5 — 2,743 %;
 6 — 3,175 %; 7 — 26,165 %; 8 — 23,265 %; 9 — 6,158 %; 10 — 25,790 %;
 11 — 2,004%

Рисунок 3.11 — Гистограмма распределения капель ГДИ-040, 26.06.14, полет 7

Проведенные исследования оседания частиц и характера их

распространения на поле позволили получить:

- особенности поля скоростей различных типов СЛА;
- закономерности распространения воздушной струи и сноса химических веществ при различных характерных особенностях операционной технологии внесения;
- способы увеличения зон высокого качества, таблица 3.4.

Таблица 3.4 — Особенности внесения химических веществ разными типами СЛА

№ п/п СХС	Жидкие химикаты	Сыпучие химикаты
	-22%	-14%
СХВ классической схемы	-24%	-15%
СХВ сосной схемы	-12%	-11%

Под нецелевым воздействием будем понимать попадание части нормируемых химических веществ «не по назначению»

$$\Delta m_{хммij} = k_{хм} \cdot m_{хммij}, \quad (3.1)$$

где $m_{хм,мij}$ — масса загрузка химических веществ СЛА j -го типа на i -ом виде АР при внесении химических веществ k -ым видом средства воздействия;

$k_{хм}$ — коэффициент нецелевого воздействия, который зависит от:

- относительной величины зоны высокого качества (ЗВК) — рисунок 3.7
- от рабочей высоты полета (H) — рисунок 3.12;
- от направления ветра (НВ);
- от вероятности воздействия совпавших негативных метеорологических состояний.

Величины H , $Ш_0/2$ определяются по статистическим данным мониторинга в зависимости от норм расхода химикатов. Величина и направление ветра вносит интегральность воздействия внесенных химических веществ при возделывании сельскохозяйственных культур, рисунок 3.13.

Особенности внесения химических веществ (величина потерь, загрязнение окружающей среды) даны в таблице 3.4 в зависимости от типа СЛА и операционной технологии по результатам проведенных испытаний.

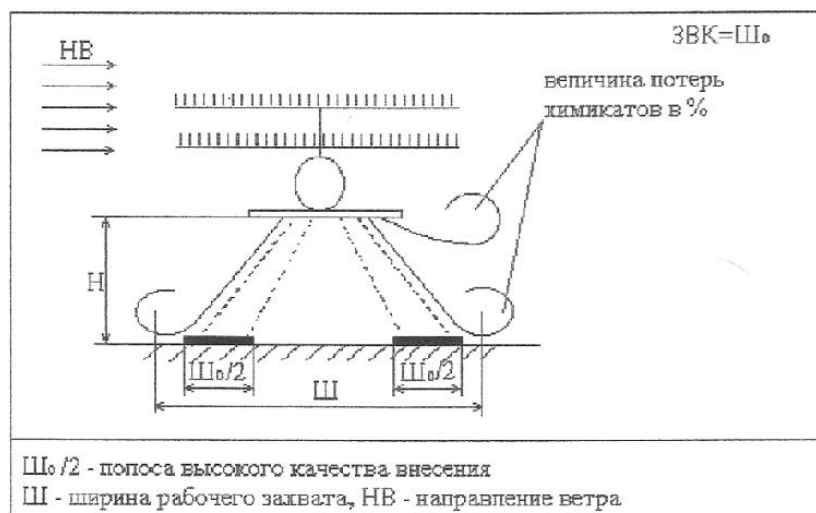
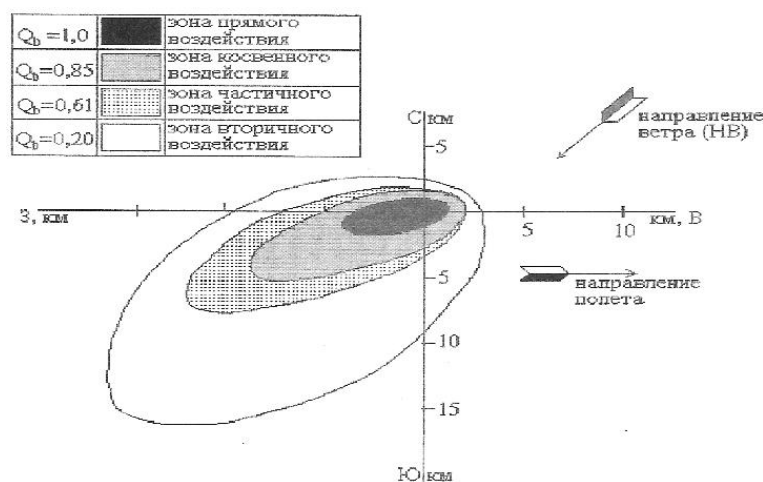


Рисунок 3.12 — Методическая схема определения величины потерь и зон высокого качества (ЗВК)

При этом нецелевое воздействие происходит за счет:

- уноса ветром;
- неточность внесения;
- технологического попадания в почву;
- специфики воздушной струи (вихреобразования).



Q_b — вероятность воздействия в зависимости от типа СЛА и операционной технологии внесения химических веществ по результатам проведенных испытаний.

Рисунок 3.13 — Зависимость интегрального коэффициента от типа СЛА и операционной технологии по результатам проведенных испытаний

При проведении авиационного внесении химических веществ капли менее 50 мкм имеют тенденцию к испарению и сносу, а крупные капли (более 800 мкм), как правило, вызывают ожоги растений и повышенный расход химических веществ. В ходе экспериментального исследования были собраны и проанализированы данные по монодисперсности распыла, разработаны методы и приведены сравнительные эксплуатационные и стендовые испытания разных типов распылителей на СХС Ан-2 с использованием механических распылителей.

Достаточно однородный фракционный состав капель распыливаемой жидкости при малых расходах (< 20 кг/га) доказал перспективность использования авиационного внесении химических веществ при благоприятных

локальных метеорологических состояний.

Основываясь на теоретических положениях и многофакторном эксперименте, выполненном в соответствии с разработанным планом, убедительно выявил зависимость параметров оптимизации (диаметр оседания капель Y_1 и их количество на темплетях экспонированных карточек Y_2) от трех факторов: от времени внесения химических веществ X_1 , инверсии (атмосферное давление) X_2 , сноса химических веществ при различных характерных особенностях операционной технологии внесения X_3 . Результаты анализа позволили получить в программе STATISTICA 10 поверхности отклика параметров оптимизации от факторов, рисунок 3.14, 3.15.

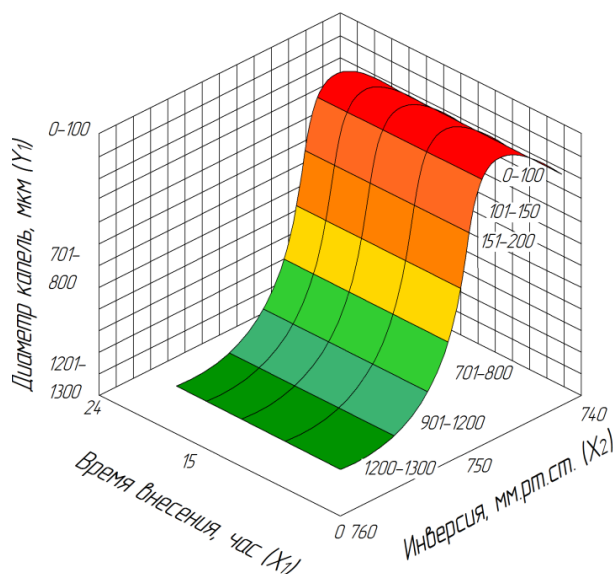


Рисунок 3.14 — Поверхность отклика параметра оптимизации Y_1 (диаметр оседания капель, мкм) от факторов X_1 (времени внесения химических веществ, час) и X_2 (инверсии — атмосферное давление P , мм.рт.ст.)

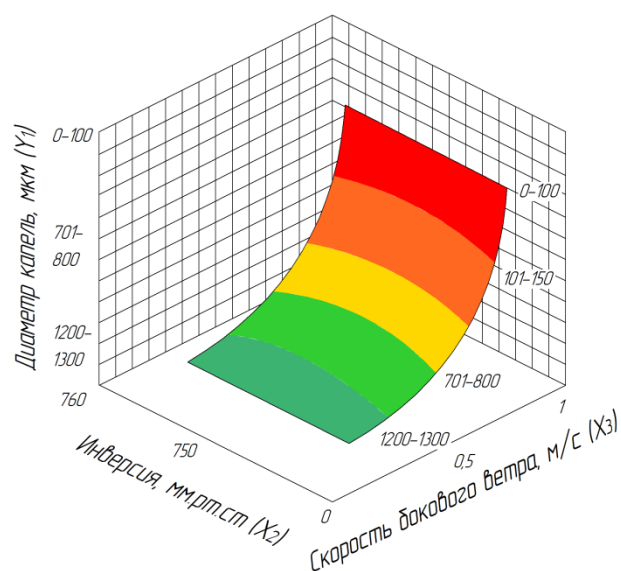


Рисунок 3.15 — Поверхность отклика параметра оптимизации Y_1 (диаметр оседания капель, мкм) от факторов X_2 (инверсии — атмосферное давление P , мм.рт.ст.) и X_3 (скорости бокового ветра — снос $V_{дон.в}$, м/с)

4 Оценка технико-экономического обоснования целесообразности авиационного внесения химических веществ для сельскохозяйственных культур

4.1 Экономический анализ как основа оценки экономической целесообразности

Экономический анализ является одной из важнейших функций управления предприятием сельского хозяйствования, осуществление которой необходимо для обеспечения эффективной его работы.

Экономический анализ определяют, как приложение теоретических основ экономики предприятия и аналитических разделов бухгалтерского учета к обоснованию управленческих решений.

С помощью аналитического процесса в современной теории управления определяются и обосновываются, управленческие решения и достигается «рациональное решение проблемы». Аналитическая часть данного процесса тождественна экономическому анализу, включает следующие семь этапов:

а) диагностика проблемы. Выделяют два типа проблем:

- проблемой считается ситуация, когда поставленные цели не достигнуты.

Например, руководство может установить, что производительность труда ниже запланированной;

- проблему рассматривают как потенциальную возможность. Например, активный поиск способов повышения производительности труда;

б) формулировка ограничений и критериев принятия решения. Многие решения проблем могут оказаться нереальными, поскольку возможности руководства ограничены, например, недостатком имеющихся ресурсов. Перед тем как переходить к следующему этапу процесса, необходимо провести анализ, который позволит определить суть ограничений и критерии оценки результатов реализации решений;

в) определение альтернатив — это формулирование набора альтернативных решений, т.е. возможных вариантов решений проблемы. Необходимо провести анализ и выявить все возможные действия, которые могли бы устранить причины проблемы и тем самым дать возможность предприятию сельского хозяйствования достичь своих целей;

г) оценка альтернатив. Каждый вариант возможных действий должен быть проанализирован и оценен по ранее сформулированным критериям;

д) выбор альтернативы. Если проблема была правильно определена, а альтернативные, взаимоисключающие варианты действий тщательно проанализированы и оценены, то руководитель просто выбирает наилучшее решение из числа рассмотренных;

е) реализация. Для разрешения проблемы или извлечения выгоды из имеющейся возможности, вариант принятого действия должен быть реализован, результаты, получаемые при этом, должны быть проконтролированы;

ж) обратная связь — это поступление в результате контроля данных о том, что происходит при реализации решения. Данные должны быть проанализированы, что позволяет руководителю при необходимости скорректировать решение, пока авиапредприятию не нанесен значительный ущерб.

Современные концепции управления, как правило, включают экономический анализ в число важнейших функций управления предприятием.

Задачи экономического анализа определяются в первую очередь содержанием анализа финансово-хозяйственной деятельности предприятия как науки. Эти задачи сводятся к следующему:

а) первая задача — повышение обоснованности плановых решений по количеству, структуре и качеству выполнения работ с точки зрения выявления и удовлетворения спроса, бесперебойности, ритмичности производственных процессов, а также контроля и всесторонней оценки результатов исполнения планов.

При оценке выполнения плана по осуществлению авиационного внесения химических веществ основное внимание обращаем на объем выполняемых работ. Очень важно, чтобы анализ осуществлялся оперативно, в ходе выполнения плановых заданий. Только в этих условиях можно в текущем порядке выявить и устранить отрицательные моменты в процессе выполнения работ;

б) вторая задача — оценка использования предприятиями сельского хозяйствования своих материальных, трудовых и финансовых ресурсов. Наиболее рациональное и эффективное использование ресурсов — важнейшая экономическая задача;

в) третья задача — оценка финансовых результатов эксплуатации СЛА при осуществлении авиационного внесения химических веществ, соизмерение доходов и расходов.

При оценке финансовых результатов используются в органической увязке количественные и качественные показатели. Так, размер прибыли предприятия определяется не только количеством оказываемых услуг по авиационному внесению химических веществ, но и их себестоимостью. Прибыль предприятия зависит как от выполнения плана оказываемых услуг (по объему и структуре), так и от фактически сложившейся структуры затрат, от соблюдения режима экономии, рационального использования трудовых, материальных и финансовых ресурсов.

Правильная оценка соблюдения принципов коммерческого расчета и финансовых результатов требует подразделения факторов, оказавших влияние на исследуемые показатели, на зависящие и независящие от предприятия сельского хозяйствования при авиационном внесении химических веществ.

В процессе экономического анализа приходится постоянно иметь дело с микромоделями экономических явлений — экономическими показателями. Отражая динамику и противоречия происходящих процессов, они подвержены изменениям и колебаниям и могут приближаться или отдаляться от своего главного предназначения — измерения и оценки сущности экономического

явления. Поэтому аналитик должен всегда помнить о цели и задачах исследования и использовать показатели для описания и оценки конкретных аспектов деятельности.

Процесс авиационного внесения химических веществ измеряется множеством экономических показателей, которые разделяют по определенным признакам на стоимостные и натуральные.

Основанием классификации является зависимость от положенных в основу измерителей.

Стоимостные показатели относятся в настоящее время к числу наиболее распространенных. Использование стоимостных показателей вытекает из эксплуатации СЛА, наличия товарно–денежных отношений. В денежном измерении выражаются, естественно, объем оказанных услуг, затраты, прибыль. Денежный (стоимостный) измеритель вытекает из экономической сущности перечисленных категорий.

Натуральные показатели используются в плановой и учетно–аналитической практике организаций всех отраслей. Особенно они необходимы для контроля сохранности собственности, рациональным использованием материальных и трудовых ресурсов.

4.2 Эффективность авиационного внесения химических веществ для сельскохозяйственных культур

Эффективность можно определить, как способность добиться желаемого результата при минимальных усилиях, затратах или потерях. При авиационном внесении химических веществ примерами такого желаемого результата могут быть уничтожение вредителей сельского хозяйства, аэросев, удобрение площадей под сельскохозяйственными культурами или лесными массивами, уничтожение нежелательной растительности, борьба с вредными или болезнетворными насекомыми или борьба с лесными или полевыми пожарами. Каждый вид деятельности имеет биологические или другие требования,

которые обуславливают тип и объем применяемого химического вещества, время применения, а также точку соприкосновения химических веществ с объектом обработки. Основной целью при выполнении всех этих и других АР является достижение максимальной эффективности.

В целях эффективного планирования и проведения АР эксплуатанту необходимо руководствоваться следующими основными принципами:

а) выбор рационального типа СЛА из числа имеющихся для проведения работ;

б) выбор рациональных химических веществ и растворителей или других веществ;

в) определение наилучшей операционной технологии, например обработки жидкими или гранулированными химическими веществ, крупнокапельное или мелкокапельное опрыскивание, объем применяемых веществ и т.д.;

г) выбор оборудования, требуемого для применения наилучшего метода обработки;

д) выбор и расчет схем подачи химикатов с бортовых систем/оборудования для обеспечения необходимого охвата;

е) знание метеорологических условий, способствующих хорошим результатам при проведении определенного вида АР, а также условий, в которых проведение такого вида работ неприемлемо.

Наибольшее значение для повышения эффективности АР приобретают усилия эксплуатантов по обеспечению взаимодействия с хозяйствующими субъектами, которые они обслуживают, в повышении безопасности, простоты и выгоды обработки участков с воздуха. Пользователи могут оказать помощь путем проведения следующих мероприятий:

а) увеличение длины полей — чем длиннее заданное поле по отношению к его ширине, тем меньше потребуется разворотов при его обработке, в результате чего работа будет проведена быстрее и экономичнее;

б) устранение или понижение опасных препятствий;

в) ориентирование полей, где это возможно, с учетом преобладающих ветров с целью сокращения убытков, связанных с потерями и сносом химикатов. Это также приведет к сокращению количества дней, в течение которых такие поля не могут обрабатываться из-за бокового ветра;

г) ориентирование, насколько это возможно, всего комплекса, земельных участков с постройками таким образом, чтобы обрабатываемые площади в большинстве случаев не находились с наветренной стороны от таких чувствительных участков, как жилые дома, ручьи, пасеки или пастбища;

д) учет при посадках чувствительности и времени посадки культур на примыкающих площадях, с тем, чтобы не помешать обработке одной культуры требуемым химическим веществом из-за возможного нанесения ущерба другой культуре, посаженной рядом;

е) отказ от использования полей, которые имеют небольшие размеры, неправильную форму, граничат с реками, чувствительны к загрязнению, или которые в других отношениях непригодны для обработки с воздуха в связи с тем, что не требуют такой обработки;

ж) наличие сведущего персонала на местах во время проведения работ для подтверждения того, что задача выполняется по плану, и для проверки полей и сельскохозяйственных культур, которые подлежат обработке.

Следует принять во внимание, что, кроме авиационного внесения химических веществ, существует много факторов, связанных с территориальной планировкой ферм, фруктовых садов и других объектов, обрабатываемых с воздуха, и что иногда эти факторы сами по себе оказываются противоречивыми или даже взаимно исключаящими. Однако часто имеют место случаи, когда по чистой случайности участки разбиваются так, что их трудно или невозможно обрабатывать с СЛА. В таких случаях взаимодействие между эксплуатантом и лицом или органом, осуществляющим контроль над использованием земельных участков, может при изменении планировки привести к значительному повышению эффективности АР в течение определенного периода времени.

Можно выделить ряд общих и простых эксплуатационных принципов, которые помогут эффективно выполнить АР:

- по мере возможности, избегать выполнять полеты с загрузкой вверх по склону, т.е. взлетно-посадочную полосу следует выбирать на более высокой местности, чем обрабатываемые поля. Это должно сопоставляться с техническими характеристиками используемых типов СЛА;

- производить расчет загрузки СЛА химикатами таким образом, чтобы они не были израсходованы в середине обрабатываемой полосы;

- в случае, когда обрабатываемое поле имеет достаточную ширину, позволяющую СЛА покрыть половину ее величины или менее в конце нормального разворота на 180° после обработки первой полосы на ее границе, можно сэкономить время путем обработки ее методом «ипподрома», а не путем использования противоположных или смежных полос. Иногда этим методом можно также обрабатывать два соседних поля одновременно. Однако в любом случае обычно требуется дополнительно не менее двух сигнальщиков, расходы на которых должны быть сопоставлены с достигнутой экономией;

- производить с воздуха осмотр последующих участков предстоящих работ. Это лучше сделать на СЛА без загрузки при возвращении с другого поля, а не на СЛА, загруженном химическими веществами непосредственно перед началом работ на новых участках;

- необходимо иметь запасное поле для обработки на тот случай, если пилот по прибытии к месту работы на расчетное поле обнаружил, что оно по той или иной причине не подлежит обработке.

4.3 Сравнительная оценка экономической целесообразности применения сельскохозяйственного летательного аппарата при авиационном внесении химических веществ

Основным производственным показателем, характеризующим технико-экономическую целесообразность авиационного внесения химических веществ, является валовый сбор продукции и урожайность [41].

При авиационном внесении химических веществ факторами производства являются:

- а) рабочее время на гектар, которое в свою очередь зависит от эксплуатационной воздушной скорости;
- б) время, необходимое для загрузки и руления;
- в) количество химических веществ, загружаемых для одного полета;
- г) нормы расхода химических веществ;
- д) ширина полосы поля;
- е) длина и площадь полей;
- ж) расстояния между полями;
- з) время разворота между заходами для обработки новой полосы;
- и) расстояние от летной полосы до полей.

При оценке экономической целесообразности авиационного внесения химических веществ помимо перечисленных производственных факторов необходимо учитывать и размер общих затрат финансовых ресурсов, которые несут хозяйствующие субъекты. Планируемые затраты эксплуатанта фиксируются в смете затрат. Порядок определения сметных затрат:

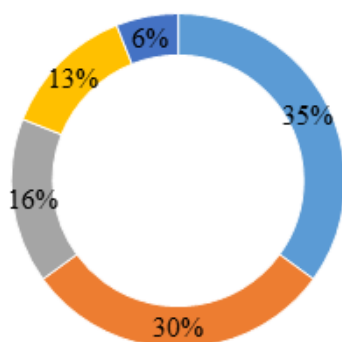
- затраты на основные материалы, полуфабрикаты и комплектующие устанавливаются на основе потребности материальных ресурсов. В смету включаются лишь те затраты, которые будут израсходованы;
- затраты на вспомогательные материалы. В состав этих затрат включают стоимость расходуемых распыляемых химических веществ;
- стоимость топлива;

- основная и дополнительная заработная плата всех категорий персонала определяется по действующим окладам с учетом сложности и трудоемкости выполняемых работ, численности и квалификации работников.

На общий фонд заработной платы персонала планируются начисления на социальные нужды по действующим ставкам;

- прочие денежные расходы включают затраты, не предусмотренные в предыдущих статьях сметы. По каждой из статей прочих расходов необходимо обосновать величину соответствующих затрат по существующим нормам или опытным данным.

Основной единицей учета объема работы авиации сельского хозяйства является приведенный летный час. Себестоимость приведенного летного часа определяется делением суммы всех эксплуатационных затрат на общий объем работ. Анализ себестоимости летного часа СЛА Ан-2 по статьям затрат авиационного отряда за 2015 год свидетельствует о том, что одной из основных затратных статей хозяйствующего субъекта являются расходы на авиационное топливо, рисунком 4.1.



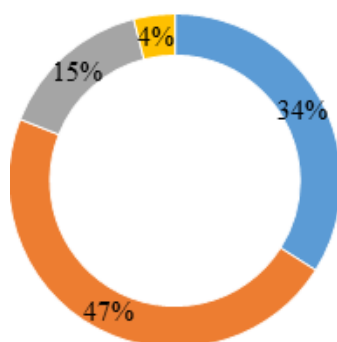
■ — авиа ГСМ; ■ — затраты на оплату труда и отчисления во внебюджетные фонды; ■ — аэропортовое обслуживание; ■ — обслуживание и ремонт авиатехники; ■ — прочие затраты.

Рисунок 4.1 — Структура расходов хозяйствующего субъекта при распределения химических веществ СЛА, %

Совсем недавно экономическая целесообразность применение наземных технических средств не вызывала сомнений. Однако в современных

экономических условиях значительно возросла их стоимость и можно говорить о соразмерности применения воздушных технических средств. Проведенная оценка современного состояния и тенденции развития внесения химических веществ в сельском хозяйстве позволят говорить о необходимости применения аграрной авиации, как одного из звеньев в процессе производства сельскохозяйственной продукции.

Наиболее часто при внесении химических веществ в сельском хозяйстве применяют наземные технические средства. К наземным техническим средствам относятся трактора с прицепными опрыскивателями или самоходные опрыскиватели. Также, как и при применении СЛА основными статьями расходов при использовании наземных технических средств являются затраты на ГСМ и оплату труда работников, рисунок 4.2.



■ — ГСМ; ■ — затраты на оплату труда и отчисления во внебюджетные фонды;
■ — материальные затраты; ■ — прочие затраты.

Рисунок 4.2 — Структура расходов хозяйствующего субъекта при внесении химических веществ наземным транспортным средством, %

Для достижения поставленной цели исследования необходимо провести сравнительную оценку целесообразности применения СЛА при внесении химических веществ по сравнению с наземными.

Согласно теории прироста, субъекты хозяйствования принимают решения, исходя из стремлений достичь максимальную предельную полезность (приращение полезности на единицу затрачиваемых ресурсов, прибыль).

В сравнительной оценке принимаются к расчету постоянные и переменные расходы, которые несет многоотраслевое хозяйство при применении СЛА Ан-2 или самоходный опрыскиватель VERSATILE SX 275 (Ростсельмаш, г. Ростов-на-Дону), рисунок 4.3.



Рисунок 4.3 — Самоходный опрыскиватель VERSATILE SX 275

Сравнительная оценка эффективности применения СЛА или наземных транспортных средств при внесении химических веществ является основой для принятия управленческих решений сельскохозяйственным предприятием. Данные проведенного анализа целесообразности применения технических средств является основой информационной базой для определения объемов работ при авиационном внесении химических веществ.

Методику оценки экономической целесообразности применения различных технических средств при внесении химических веществ рассмотрим на примере при борьбе с сорной растительностью (на площадях 10 га, 150 га, 500 га), при подкормке зерновых в период снеготаяния (озимая рожь — «Саратовская 7», Адамовский район) и при борьбе с саранчой (луговым мотыльком) (арбузы — «продюсер», Соль-Илецкий городской округ). В основе предлагаемой методике оценки лежит анализ производительности труда в зависимости от технического средства и себестоимости работ, таблица 4.1.

Таблица 4.1 — Оценка экономической целесообразности технических средств при внесении химических веществ

Производительность труда самоходного опрыскивателя VERSATILE SX 275	Производительность СЛА Ан-2
исходные данные: - производительность 3 га в рабочий час; - 24 га в рабочий день, 240 га в сезон; - обслуживают опрыскиватель водитель и рабочий.	исходные данные: - 115 га/час, 710 га/день и 14200 га/сезон (по фактическим данным); - СЛА обслуживают экипаж и рабочая бригада из 15 человек.

В рассматриваемой ситуации производительность труда определяется выработкой в рабочий день, таблица 4.2.

Таблица 4.2 — Производительность технических средств

Самоходный опрыскиватель VERSATILE SX 275	СЛА Ан-2
Производительность W_1 , га $W_1 = 24/2 = 12$	Производительность W_2 , га $W_2 = 710/15 = 47,3$

Из приведенного расчета следует, что производительность труда при использовании СЛА почти в четыре раза больше чем производительность труда при использовании самоходного опрыскивателя.

При сравнительной оценки себестоимости работ при внесении химических веществ учитываются эксплуатационные расходы и расходы на оплату труда рабочих и экипажа СЛА. Затраты на приобретение расходных материалов (гербицидов) и их транспортировку в данном случае не учитываются, поскольку в обоих случаях на обработку одного гектара тратится одинаковое количество этого препарата.

Себестоимость авиационного внесения химических веществ на один гектар посевов сельскохозяйственных культур зависит от типа технического средства, себестоимости работ и производительности технического средства в час. Себестоимость рассчитываем делением значения себестоимости работы технического средства в час на значение его производительности, определяемую посевной площадью, обрабатываемой за час работы.

Стоимость часа работы технического средства находится как отношение всех эксплуатационных затрат к общему объему выполненных работ в часах.

Расчетное поле имеет размер 10 га, таблице 4.3.

Таблица 4.3 — Сравнительные данные авиационных и наземных средств по обработке сельскохозяйственных посевов методом опрыскивания

Показатели	Ед. измерения	Ан-2	VERSATILE SX 275
Производительность	га	47,3	12
Стоимость с аппаратурой	р.	32700000	5100000
Скорость	км/ч	150	40
Ширина рабочего захвата	м	31	30
Время опрыскивания	ч	0,14	2,5
Стоимость часа работы	р./ч	38000	2394
Стоимость опрыскивания поля	р.	5320	5985

Расчетное поле имеет размер 150 га, таблица 4.4.

Таблица 4.4 — Сравнительные данные авиационных и наземных средств по обработке сельскохозяйственных посевов методом опрыскивания

Показатели	Ед. измерения	Ан-2	VERSATILE SX 275
Производительность	га	47,3	12
Стоимость с аппаратурой	р.	32700000	5100000
Скорость	км/ч	150	40
Ширина рабочего захвата	м	31	30
Время опрыскивания	ч	2,1	37,5
Стоимость часа работы	р./ч	38000	2394
Стоимость опрыскивания поля	р.	79800	89775

Расчетное поле имеет размер 500 га, таблица 4.5.

Таблица 4.5 — Сравнительные данные авиационных и наземных средств по обработке сельскохозяйственных посевов методом опрыскивания

Показатели	Размерность	Ан-2	VERSATILE SX 275
Производительность	га	47,3	12
Стоимость с аппаратурой	р.	32700000	5100000
Скорость	км/ч	150	40
Ширина рабочего захвата	м	31	30
Время опрыскивания	ч	7	125
Стоимость часа работы	р./ч	38000	2394
Стоимость опрыскивания поля	р.	266000	299250

Помимо показателя производительности труда на решение об экономической целесообразности применения авиации при внесении химических веществ может повлиять и оценка затрат на вспомогательные материалы, таблица 4.6.

Таблица 4.6 — Расчет затрат на средства защиты растений при наземном опрыскивании и при авиационном внесении химических веществ

Показатель	Озимые зерновые		Яровые зерновые		Рапс	
	Наземное	Авиа	Наземное	Авиа	Наземное	Авиа
Площадь посева, га	1100		1000		200	
Гербициды						
Норма расхода, га	0,27	0,2	0,27	0,2	2	1,2
Расход, л	297	220	270	200	400	240
Цена 1 л, р.	270	270	270	270	735	735
Затраты на гербициды, тыс. р.	80,19	59,40	72,9	54	294	176,4
Фунгициды (для рапса — инсектициды)						
Норма расхода, га	0,15	0,1	0,15	0,1	0,2	0,15
Расход, л	165	110	150	100	40	30
Цена 1 л, р.	3000	3000	3000	3000	257	257
Затраты на фунгициды, тыс. р.	495	330	450	300	10,3	7,71

Анализ норм затрат на вспомогательные вещества показывает, что при применении авиации они ниже норм затрат при применении наземных средств, следовательно, снижается и общий расход химических веществ примерно на 32 %, а затраты на обработку посевов химическими веществами соответственно сокращаются на 34 %.

Анализ приведенных данных показывает, что применение авиации в сельском хозяйстве позволяет проводить операционные технологии по внесению химических веществ в оптимальные агротехнические сроки, снизить потребность в наземной технике и рабочей силе, охватить большие территории и т.д. Однако, применение авиации при внесении химических веществ в сельском хозяйстве имеет и ряд недостатков, таких как размер обрабатываемого поля, наличие препятствий на маршруте полета (лесных полос, ЛЭП), условия погоды и состояние взлетно-посадочных полос.

Оценку экономической целесообразности применения различных технических средств при внесении химических веществ рассмотрено на примере борьбы с сорной растительностью (на площадях 10 га, 150 га, 500 га), при подкормке зерновых в период снеготаяния (озимая рожь – «Саратовская 7», Адамовский район) и при борьбе с саранчой (луговым мотыльком) (арбузы – «продюсер», Соль-Илецкий городской округ).

Таблица 4.7 — Сравнительные данные авиационных и наземных средств по обработке сельскохозяйственных посевов методом опрыскивания

Показатели		Ед. из-я	Ан-2	VERSATILE SX 275
Борьбе с сорной растительностью (яровая пшеница)				
Производительность		га	47,3	12
Стоимость с аппаратурой		р.	32700000	5100000
Скорость		км/ч	150	40
Ширина рабочего захвата		м	31	30
Время опрыскивания		ч	0,14	2,5
Стоимость часа работы		р./ч	38000	2394
Стоимость опрыскивания поля		р.	5320	5985
Урожайность	При обработки	ц/га	34,6	34,6
	Без обработки		31,1	31,1
Прибыль	При обработки	р./га	79580	79580
	Без обработки		71530	71530
Подкормка зерновых в период снеготаяния (озимая рожь – «Саратовская 7»)				
Производительность		га	47,3	-
Стоимость с аппаратурой		р.	32700000	-
Скорость		км/ч	150	-
Ширина рабочего захвата		м	31	-
Время подкормки		ч	0,14	-
Стоимость часа работы		р./ч	38000	-
Стоимость подкормки поля		р.	5320	-
Урожайность (северная зона /западная зона)	При подкормки	ц/га	19/16,8	-
	Без подкормки		16,6/13,7	
Прибыль (северная зона / западная зона)	При подкормки	р./га	10450/9240	-
	Без подкормки		9130/7535	
Борьба с саранчой (луговой мотылек) (арбузы – «продюсер»)				
Производительность		га	47,3	12
Стоимость с аппаратурой		р.	32700000	5100000
Скорость		км/ч	150	40
Ширина рабочего захвата		м	31	30
Время опрыскивания		ч	0,14	2,5
Стоимость часа работы		р./ч	38000	2394
Стоимость опрыскивания поля		р.	5320	5985
Время поедания поля		500 га ~ от 1,5 до 2 часов		
Урожайность	При обработки	т/га	60	-
	Без обработки		0	
Прибыль	При обработки	р.	300000	-
	Без обработки		0	

Результаты проведенного сравнительного анализа (таблица 4.7) позволяют сделать следующие выводы:

- услуги авиапредприятия превышают стоимость наземной обработки в 6,4 раз, однако за счет высокой рабочей скорости (17,8 раза) и производительности (3,9 раза) стоимость обработки поля СЛА на 12 % ниже;

- производительность СЛА почти в 4 раза выше производительности наземных технических средств. Благодаря высокой производительности СЛА позволяют в сжатые агротехнические сроки контролировать численность вредителей, предотвращать появление болезней, бороться с сорняками;

- рабочая скорость авиационной обработки превышает скорость наземной в четыре раза, что позволяет авиации считаться незаменимой в борьбе с особо опасными вредителями — саранчой, луговым мотыльком;

- основным преимуществом применения СЛА является возможность вносить химические вещества в ранневесенний период, что очень важно в растениеводстве, когда наземная техника не может пройти по полю.

Заключение

Разработан метод определения рационального типа СЛА для внесения химических веществ, включающего математическую модель, учитывающую закономерности влияния летно–технических и технико–экономических характеристик. Применение для СЛА разработанного алгоритма и технического способа построения программного обеспечения учитывают особенности операционной технологии по внесению химических веществ для конкретного поля, позволяют выполнить анализ метеорологической, летной, сельскохозяйственной информации и определить зоны высокого качества распыления. Полевыми испытаниями установлены закономерности, характеризующие эффективность внесения химических веществ на основе выбора рационального типа СЛА и разработки операционной технологии которые показали наилучшие характеристики опрыскивания при скорости бокового без порывов, ветра 0,5 м/с с расходом жидкости 1,2 кг/с при атмосферном давлении от 740 до 750 мм. рт. ст. Расчет технико–экономического обоснования целесообразности авиационного внесения химических веществ показал более высокую эффективность производства, что отражается в стоимости обработки поля, которая в 15,8 раза ниже, по сравнению с наземной, за счет высокой рабочей скорости и производительности, что позволяет в сжатые агротехнические сроки контролировать численность вредителей, а в период снеготаяния выполнять подкормку зерновых злаковых культур, что наземными средствами не рационально.

Список использованных источников

- 1 Авиационно-химические работы: реф. сб. науч. тр. ГосНИИ ГА. – Вып. 6. – М.: ГосНИИ ГА, 1974. – 210 с.
- 2 Автономов, В.Н. Создание современной техники. Основы теории и практики / В.Н. Автономов. – М.: Машиностроение, 1991. – 258 с.
- 3 Айден, К. Аппаратные средства ПК / К. Айден, Х. Фибельман. – СПб.: BHV-СПб, 1996. – 544 с.
- 4 Алиев, Р.А. Управление производством при нечеткой исходной информации / Р.А. Алиев. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 329 с.
- 5 Андрейчиков, А.В. Моделирование процедур синтеза новых механизмов / А.В. Андрейчиков // Программные продукты и системы. – 1995. – № 2. – С. 23-24.
- 6 Атре, Ш. Структурный подход к организации баз данных / Ш. Атре. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 144 с.
- 7 Базилевич, Л.А. Автоматизация организационного проектирования. / Л.А. Базилевич. – Л.: Машиностроение, 1989. – 175 с.
- 8 Богданов, Ю.С. Оценка эффективности транспортных вертолетов / Ю.С. Богданов, В.С. Брусов. – М.: МАИ, 1982. – 45 с.
- 9 Бондаренко, В.А. Инновационные процессы в авиационно-химических работах — экологический аспект / В.А. Бондаренко, Р.Т. Абдрашитов, К.Ю. Дибихин, А.П. Локтионов, Н.З. Султанов. – Оренбург: ОГУ, 1998. – 200 с.
- 10 Брандон, Д.Б. Совершенствование математических моделей для компьютерного управления / Д.Б. Брандон // Программные продукты и системы. – 1999. – №7. – С. 46–49.
- 11 Брусов, В.С. Системный анализ и автоматизированное проектирование летательных аппаратов / В.С. Брусов. – М.: МАИ, 1982. – 28 с.
- 12 Вермишев, Ю.Х. Методы автоматического поиска решений при проектировании СТС / Ю.Х. Вермишев – М.: Радио и связь, 1982. – 214 с.

- 13 Вычислительные системы и вопросы принятия решений: сб. науч. тр. МГУ. – М.: Изд. МГУ, 1991. – 142 с.
- 14 Голицына, О.Л. Базы данных / О.Л. Голицына. – Москва: Форум, Сер.: Профессиональное образование, 2006. – 142 с.
- 15 Демин, В.М. Разработка баз данных в системе Microsoft Access / В.М. Демин. – 3-е изд. – М.: Лань, 2009. – 266 с.
- 16 Зонов, Б.Д. Машины для внесения минеральных удобрений и химических средств защиты растений: Настройка и регулировка / Б.Д. Зонов. – М.: Агропромиздат, 1989. – 40 с.
- 17 Извозчикова, В.В. Оптимизация технологического процесса авиационно-химических работ: Прогрессивные методы ремонта и эксплуатации транспортных средств: тезисы докладов IV научн.-техн. конф. / В.В. Извозчикова. – Оренбург: ОГУ, 1999. – С. 275–277.
- 18 Инструкция оперативного использования данных МТП-5 для мониторинга состояния пограничного слоя атмосферы / Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. – М.: ГУ ЦАО, ГУ ГМЦ России, 2002. – 50 с.
- 19 Инструкция экипажу вертолета Ми-2. – М.: Военное издательство министерства обороны СССР, 1984. – 4-е изд., доп. – 121 с.
- 20 Калиниченко, Л.А. Машины баз данных и знаний / Л.А. Калиниченко, В.М. Рывкин. – М.: Наука, 1990. – 351 с.
- 21 Компьютеризация сельскохозяйственного производства / В.Т. Сергованцев, Е.А. Воронин, Т.И. Воловник, Н.Л. Катасонова. – М.: Колос, 2001. – 272 с.
- 22 Корнеев, В.В. Параллельные вычислительные системы / В.В. Корнеев. – М.: «Нолидж», 1999. – 620 с.
- 23 Кузин, А.В. Базы данных / А.В. Кузин, С.В. Левонисова. – М.: Академия, 2008. – 352 с.
- 24 Лосев, В.М. Региональная модель гидродинамического прогноза полей основных метеорологических величин высокого пространственного

разрешения / В.М. Лосев. // Труды Гидрометцентра России. – 2001. – Вып. 338. – С. 45–48.

25 Магдин, А.Г. Разработка информационно-поисковой системы средствами dBASE: метод. указания / А.Г. Магдин, Н.В. Вагапова. – Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2007. – 28 с.

26 Магдин, А.Г. Экспертные технологии в социально–экономических и производственных системах: Монография / А.Г. Магдин, К.Ю. Дибихин, Н.З. Султанов. – Оренбург: Оренб. гос. ин-т менеджмента, 2008. – 187 с.

27 Анализ эффективности использования воздушных судов по разным сферам применения и оптимизации парка: Отчет по НИР / А.Г. Магдин, А.Д. Припадчев, Н.З. Султанов. – Тема по г\б НИР, № гос.рег. 01200407019 (заключительный отчет). Инв. № 02201455677. – М.: ВНТИЦ, 31.01.2014. – 212 с.

28 Малышев, Н.Г. Нечеткие модели для экспертных систем и САПР / Н.Г. Малышев. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 118 с.

29 Мезомасштабная модель – численная гидродинамическая модель локального прогноза погоды. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.meteoinfo.ru/models-meso>. Проверено 12.10.2008 г.

30 Методика планирования авиационных работ в народном хозяйстве: Министерство гражданской авиации. – М.: Воздушный транспорт, 1989. – 75 с.

31 Персецкий, А. Система анализа временных рядов / А. Персецкий, Д. Жидко. – М.: ЦЭМИ АН РФ, 1992. – 278 с.

32 Полевой, А.Н. Прикладная динамическая модель формирования урожая сельскохозяйственных культур: сб. научн. трудов «Гидрометеорологическое обеспечение агропромышленного комплекса страны» / А.Н. Полевой, Т.И. Русакова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987. – С. 84-87.

33 Припадчев, А.Д. Комплексный экономический анализ парка воздушных судов: учебное пособие / А.Д. Припадчев, Н.З. Султанов. – М.: ООО «ТиРу», 2012. – 131 с.

34 Припадчев, А.Д. Имитационное моделирование в автоматизированном проектировании воздушных судов: учебное пособие / А.А. Горбунов, А.Д.

Припадчев. - Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2014. – 103 с.

35 Припадчев, А.Д. Концепция стратегии развития автоматизированных методов планирования парка воздушных судов конкурентоспособного предприятия: монография / А.А. Горбунов, А.Д. Припадчев. - Оренбург: ОГУ, 2015. – 153 с.

36 Припадчев, А.Д. Автоматизированные методы обработки результатов эксперимента: учебное пособие / А.А. Горбунов, А.Д. Припадчев. - Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2015. – 153 с.

37 Проектирование баз данных. СУБД Microsoft Access: учеб. пособие для вузов / Н.Н. Гринченко, Е.В. Гусев, Н.П. Макаров, А.Н. Пылькин, Н.И. Цуканова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 240 с.

38 Рекомендации по эффективному применению вертолетов КА-126 сельскохозяйственной модификации на авиационно-химических работах / Р.Т. Абдрашитов, Л.П. Карташов, А.П. Локтионов, Н.З. Султанов. – Оренбург: ОГАУ, 1997. – 48 с.

39 Руководство по авиационно-химическим работам гражданской авиации: Министерство гражданской авиации. – М.: Воздушный транспорт, 1984. – 63 с.

40 Указания по технологии авиационно-химических работ в сельском и лесном хозяйстве: Министерство гражданской авиации. – М.: Воздушный транспорт, 1982. – 120 с.

41 Усик, В.В. Моделирование эффективного использования летательных аппаратов в сельском хозяйстве (на примере Оренбургской области): автореф. дис. ... канд. эконом. наук / В.В. Усик. – Ижевск, 2012. – 21 с.

42 Хибатуллин, С.Г. Разработка системы автоматизации технологического процесса авиационно-химических работ: Информационно-вычислительные технологии и их приложения: сб. статей IV российско-украинского научн.-техн. и метод. симпозиума / С.Г. Хибатуллин. – Пенза: РИО ПГСХА, 2006. – С. 241–243.

Приложение А (обязательное)

Исходные данные для программной реализации выбора рационального СЛА при авиационном распределении химических веществ

Таблица А.1 — Исходные данные для расчета

Тип ЛА	H_p , м	$H_{разв.}$, м	$m_{ком}$, кг	$V_{доп.в}$, км/час	V_z , л	$V_{р.опр.}$, км/час	$L_{пр.}$, м	$L_{max.}$, м	$B_{р.з.}$, м	$Q_{рж.}$, кг/га
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ан-2	20	50	1370	45	500	150	300	600	31	60,3
Су-38	10	50	1050	50	490	150	300	500	25	50,2
Т-115 «Нива»	25	50	2700	45	480	150	310	520	17	55,1
Ка-226	15	30	1000	40	200	50	-	450	39	15
Ми-2	15	30	700	30	100	40	-	420	40	17
Robinson R44	5	15	380	35	90	40	-	600	25	10

Продолжение таблицы А.1

Q_m , кг/ч	$C_{час}$, кг/ч	t_p , мин	$t_{вз.п.}$, мин	$t_{з.з.ч.}$, мин	$t_{з.з.з.}$, мин	W_z , ч	$W_{мрпл.}$, ч	$W_{мрдв.}$, ч	L_z , км	$C_{лч}$, р.
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
6,1	200	1,5	3,7	1,4	0,8	600	2000	100	1	38000
5,8	120	1,3	3,2	1,2	0,8	500	2000	100	1,4	22500
5,5	125	1,4	3,5	1,3	0,7	550	2000	100	1,5	30000
0,15	145	1,1	3,7	0	0	450	1000	1000	1	35000
0,35	235	1,3	7,3	0	0	600	1500	1500	1	24500
0,15	39	8	5,2	0	0	700	2200	2200	1	22000

где H_p — рабочая высота полета, м;

$m_{ком}$ — масса коммерческой загрузки (химикаты), кг;

$V_{доп.в}$ — допустимая скорость ветра, км/час;

V_z — объем грузового отсека, л;

$V_{р.опр.}$ — рабочая скорость полета, км/ч, при опрыскивании обычным способом (и УМО при опрыскивании и рассеивании гербицидов с удобрениями);

$L_{пр.}$ — длина пробега, м;

$B_{р.з.}$ — ширина рабочего захвата, м;

$Q_{рж.}$ — расход рабочей жидкости (малообъемное опрыскивание, ультрамалообъемное опрыскивание (УМО), смесь (гербицида с плавом, смесь гербицида с мочевиной)), кг/га;

$C_{час}$ — часовой расход топлива при выполнении работ, кг/ч;

t_p — время одного разворота, мин;

$t_{вз.п.}$ — время на взлет и посадку, мин;

$C_{лч}$ — стоимость летного часа, р.;

Q_m — расход масла, кг/ч;

$L_{max.}$ — максимальная дальность, км;

W_z — годовой налет, ч;

$W_{мрпл.}$ — межремонтный ресурс планера, ч;

$W_{мрдов.}$ — межремонтный ресурс двигателя, ч;

$t_{з.пр.д}$ — запуск и прогрев двигателя, мин;

$t_{з.г.ч}$ — время для повторного захода на гон при челночный способ обработки, мин;

$t_{з.г.з}$ — время для повторного захода на гон при загонном способ обработки, мин.

Программная реализация выбора рационального СЛА при авиационном распределении химических веществ

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1													
2					Летно-технические данные СЛА								
3	Исходные данные полей						n= 6						
4	m= 4				Тип СЛА	Ан-2	Су-38	Т-115	Ка-226	Ми-2	Р44		
5	i ↓	B	lcp		j=	1	2	3	4	5	6		
6	1	250	400		v, км/ч	150	140	145	50	40	45		
7	2	750	2000		b max, м	31	20	17	39	40	25		
8	3	2000	2500		tp, мин	1,5	1,3	1,4	1,1	1,3	8		
9	4	2500	3600		s, p/ч	38000	22500	30000	35000	24500	22000		
10													
11	j=	1	2	3	4	5	6						
12	i	N'	N'	N'	N'	N'	N'						
13	1	8,06452	12,5	14,7059	6,4102564	6,25	10						
14	2	24,1935	37,5	44,1176	19,230769	18,75	30						
15	3	64,5161	100	117,647	51,282051	50	80						
16	4	80,6452	125	147,059	64,102564	62,5	100						
17	j=	1	2	3	4	5	6						
18	i	N	N	N	N	N	N						
19	1	9	13	15	7	7	10						
20	2	25	38	45	20	19	30						
21	3	65	100	118	52	50	80						
22	4	81	125	148	65	63	100						
23	j=	1	2	3	4	5	6						
24	i	L,м	L,м	L,м	L,м	L,м	L,м						
25	1	3600	5200	6000	2800	2800	4000						
26	2	50000	76000	90000	40000	38000	60000						
27	3	162500	250000	295000	130000	125000	200000						
28	4	291600	450000	532800	234000	226800	360000						
29	j=	1	2	3	4	5	6						
30	i	t,ч	t,ч	t,ч	t,ч	t,ч	t,ч						
31	1	0,249	0,31881	0,39138	0,1843333	0,22167	1,42222						
32	2	0,95833	1,36619	1,67069	1,1666667	1,36167	5,33333						
33	3	2,70833	3,95238	4,78782	3,5533333	4,20833	15,1111						
34	4	3,969	5,92262	7,12782	5,8716667	7,035	21,3333						
35	j=	1	2	3	4	5	6						
36	i	Si1, p.	Si2, p.	Si3, p.	Si4, p.	Si5, p.	Si6, p.	Smin	Smin	Smin	Smin	Smin	Sijmin
37	1	9462	7173,21	11741,4	6451,6667	5430,83	31288,9	9462	7173,21	7173,21	6451,67	5430,83	5430,83
38	2	36416,7	30739,3	50120,7	40833,333	33360,8	117333	36416,7	30739,3	30739,3	30739,3	30739,3	30739,3
39	3	102917	88928,6	143634	124366,67	103104	332444	102917	88928,6	88928,6	88928,6	88928,6	88928,6
40	4	150822	133259	213834	205508,33	172358	469333	150822	133259	133259	133259	133259	133259
41	Sj, p.=	299617	260100	419331	377160	314253	950400					SΣ=	258358
42	Sjmin, p.	299617	260100	260100	260100	260100	260100						

Приложение Б
(обязательное)

**Исходные данные для технического способа построения программного обеспечения, основанного на
формализованном описании операционной технологии авиационного внесения химических веществ**

Таблица Б.1 — Компоненты содействия

Компонент содействия																
Инверсия (температура)					Воздушные массы			Туман		Конвекция						
№	Высота H , м	Давление на высоте P , мм.рт.ст.	Температур a , $t^{\circ}\text{C}$	Плотность воздуха, r , $\text{кг}/\text{м}^3$	Точка росы, $T^{\circ}\text{C}$	Относительная влажность воздуха, %	Объемный показатель рассеивания, σ_p , км^{-1}	Дальность видимости, L_M , км	Погодные условия	$V_{\text{встречного доп}}$, м/с	$V_{\text{ветра бок. доп}}$ м/с / Коэф. сцепления	$V_{\text{ветра парав}}$, м/с			Угол ветра, град.	
												$V_{\text{ветра истинная}}$, м/с				
												1,38-5,55	6,94-11,11	12,5-19,44		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			13	
1	0	760	15	1,2255	от -7,8 до -2,4	20-30	$>78,2$ 78,2-19,6 19,7-7,82 7,83-3,91 3,92-1,96 1,97-0,95 0,96-0,4 0,41-0,2 0,21-0,08 $<0,08$ 0,014	1			15(0,65)	1,38-5,55	6,94-11,11	12,5-19,44	0-15	
					от -2,0 до 1,5	31-40					15(0,6)	1,38-5,28	6,68-10,56	14,73-18,6	20	
					от 1,9 до 4,7	41-50					15(0,55)	1,38-5	6,39-10,27	11,67-18,32	25	
					от 4,9 до 7,3	51-60					12(0,5)	1,11-4,72	6,11-9,99	11,11-17,78	30	
					от 7,5 до 9,6	61-70					12(0,45)	1,11-4,44	5,82-9,45	10,84-16,12	35	
					от 9,8 до 11,6	71-80					10(0,4)	1,11-4,44	5,55-8,87	10,26-16,39	40	
					от 11,8 до 13,4	81-90					10(0,35)	0,81-4,16	5,28-8,33	9,72-15,54	45	
					от 13,5 до 15	91-100					7(0,3)	0,81-3,62	4,72-7,79	9,14-14,76	50	
2	50	755,5	14,7	1,2196	от -8,0 до -2,7	20-30		2								
					от -2,3 до 1,2	31-40										
					от 1,6 до 4,4	41-50										
					от 4,7 до 7,0	51-60										
3	100	751	14,4	1,2137	от 7,3 до 9,3	61-70		3								
					от 9,5 до 11,3	71-80										
					от 11,5 до 13,1	81-90										
					от 13,2 до 14,7	91-100										
					от -8,3 до -3	20-30										
					от -2,5 до 1,0	31-40										
					от 1,3 до 4,1	41-50										
					от 4,4 до 6,7	51-60										

Продолжение таблицы Б.1

					от 7,0 до 9,0 от 9,2 до 11,0 от 11,2 до 12,8 от 12,9 до 14,4	61-70 71-80 81-90 91-100							0,54- 3,05 0,54- 2,49 0,54- 2,22 0,27- 1,66 0,27- 1,08 0,27- 0,81 0- 0,27 0- 0,27 0,27- 0,54 0,27- 1,08 0,54- 1,66 0,54- 1,94 0,54- 1,94 0,54- 2,49 0,81- 2,77 0,81- 3,34 1,08- 3,62 1,08- 3,62 1,08-	3,88- 6,36 3,34- 5,82 2,77- 5 2,22- 4,16 1,66- 3,34 1,08- 2,22 0,54- 0- 0,27 0,54 1,08- 1,66 1,94- 2,49 3,62 2,49 3,62- 5,28 4,16- 6,36 4,44- 7,21 5-	7,48- 12,5 6,94- 11,38 5,82- 9,99 5-8,6 3,88- 7,21 2,77- 5,55 1,65- 3,88 0,54- 2,22 0,54 1,66- 1,38 2,77- 3,05 3,88-5 5-6,67 5,82- 8,33 6,94- 9,99 6,36- 11,65 8,87-	60 <
--	--	--	--	--	---	-----------------------------------	--	--	--	--	--	--	---	---	--	---

Продолжение таблицы Б.1

Продолжение таблицы Б.1															
			12,7	1,1848	от 2,8 до 5,1 от 5,4 до 7,4 от 7,6 до 9,3 от 9,5 до 11,1 от 11,3 до 12,7	51-60 61-70 71-80 81-90 91-100						4,16 1,08- 4,44 1,08- 4,72	8,06 4,45- 8,6 5,82- 9,14	13,34 9,72- 14,42 10,57- 15,57	145
9	400	724,6	12,4	1,1791	от -9,9 до -4,7 от -4,3 до -0,8 от -0,5 до 2,3 от 2,5 до 4,9 от 5,1 до 7,1 от 7,3 до 9,0 от 9,2 до 10,8 от 11,0 до 12,4	20-30 31-40 41-50 51-60 61-70 71-80 81-90 91-100						1,08- 5 1,38- 5,28 1,38- 5,28 1,38- 5,28	6,09- 9,72 6,36- 10,26 6,67- 10,53 6,67- 10,84	10,84- 16,66 11,38- 17,78 11,65- 18,32 11,92- 18,59	155 160 165 170
10	450	720	12,1	1,1734	от -10,2 до -5,0 от -4,5 до -1,1 от -0,8 до 2,0 от 2,3 до 4,6 от 4,8 до 6,8 от 7,0 до 8,8 от 8,9 до 10,5 от 10,7 до 12,1	20-30 31-40 41-50 51-60 61-70 71-80 81-90 91-100									
11	500 (+)	716,0	11,8	1,1677	от -10,4 до -5,2 от -4,8 до -1,4 от -1,0 до 1,7 от 2,0 до 4,3 от 4,5 до 6,5 от 6,7 до 8,5 от 8,6 до 10,2 от 10,4 до 11,8	20-30 31-40 41-50 51-60 61-70 71-80 81-90 91-100									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		13	

Горизонтальная дальность видимости: 0; от 1 до 50 км.

Погодные условия: 1 — плотный туман; 2 — густой туман; 3 — обычный туман; 4 — лёгкий туман; 5 — слабый туман; 6 — дымка; 7 — лёгкая дымка; 8 — ясно; 9 — очень ясно; 10 — совершенно ясно; 11 — идеальная атмосфера.

Ландшафт: 12 — равнина; 13 — лес, кустарники, сады и склоны; 14 — холмы и предгорья.

Характеристика перекрытия: 15 — однородная полоса; 16 — полоса в форме трапеции; 17 — полоса в форме треугольника.

Гидрометеоры: д — дождь; с — снег; к — снежная крупа.

Оптические явления: г — гало (оптический феномен, светящееся кольцо вокруг источника света); р — радуга.

Оптическая толщина: Х — непросвечивающие облака.

Облака: в.р. — облака верхнего развития; н.я. — облака нижнего яруса.

Таблица Б.2 — Компоненты противодействия

Компоненты противодействия																											
Географические факторы										Метеорологические факторы																	
№	Ландшафт	$L_{полосы}, м$	$B_{полосы}, м$			$V_{путевая} км/ч$	$B_{полосы}, м$			Способ обработки	Хар-ка перекрытия	Облака в.р.		Облака н.я.			Тур-сть			Тип тур-ти, B	Сдвиг ветра						
			7,5-20	25-40	45-65		7,5-20	25-40	45-65			Cu	Cb	Sc	St	Ns	A	T	Д		Интенсивность	Управление ВС	Вертикальный, м/с	Горизон-й, м/с	$V_{потока}, м/с$		
			$S_{охват. за пролет}, га$				$S_{охвата}, га/мин$					Высота н.г. км / t_L , км					s , м/протяж. км./повторяе м., мин										
	1		2			3	4			5	6	7	8			9			10	11							
1	12,	250	0,19-0,5	0,63-1	1,13-1,63	100	1,3-2,5	2,9-4,8	5,4-7,9	Заг-й, Чел-й	15	0,6-1,2 д, с, к г, р X	0,2-0,6 / 0,2-0,8	0,03-0,4 / 0,1 д, с, к - 0,15	0,2-1 / 2-3 д, с, к	300-600/ 1-800/ +	1000/ 1-800/ 10-15	B1	C	±	0-2						
2		500	0,38-1	1,25-2	2,25-3,25	110	1,4-2,8	3,2-5	6-8,7		B2																
3		13,	750	0,56-1,5	1,9-3	3,38-4,88	120	1,5-3	3,5-5,5		6,5-9,5							16				B3					
4	1000		0,75-2	2,5-4	4,5-6,5	130	1,6-3,2	3,8-6	7-10,3	17	B4							У	+	2,1-4							
5	14		2000	1,5-4	5-8	9-13	140	1,8-3,5	4,1-6,4	7,6-11,1	B5, B9																
6		3000	2,3-6	7,5-12	13,5-19,5	150	1,9-3,8	4,4-6,9	8,1-11,9	B6	Сл.										++	4,1-6					
7		4000	3-8	10-16	18-26	160	2-4	4,7-7,3	8,7-12,7	B7																	
8	5000	3,75-10	12,5-20	22,5-32,5	170	2,1-4,2	4,9-7,8	9,2-13,4	B8	C ²								-	>6								
9					180	2,3-4,5	5,3-8,3	9,8-14,3	B9																		
10					190	2,4-4,8	5,5-8,7	10,3-15	B9																		
11																											

Облака: слоисто-кучевые облака (Stratocumulus — Sc); слоистые облака (Stratus — St); слоисто-дождевые облака (Nimbostratus — Ns).

Высота н.г. км / толщ. сл., км — высота нижней границы / толщина слоя.

Турбулентность: А — атмосферная; Т — термическая; Д — динамическая (болтанка).

Интенсивность, сдвиг ветра: слабый (С); умеренный (У); сильный (Сл.); очень сильный (С²).

Влияние на управление ЛА: незначительное ($\pm$); значимое (+); существенные трудности (++); опасное (-).

Толщина слоя — t_L , км.

Тип турбулентности (В): В1 — слабая; В2 — умеренная вне облаков, редкая; В3 — умеренная вне облаков, частая; В4 — умеренная в облаках, редкая; В5 — умеренная в облаках, частая; В6 — сильная вне облаков, редкая; В7 — сильная вне облаков, частая; В8 — сильная в облаках, редкая; В9 - сильная в облаках, частая.

Рабочая высота полета — $H_{\text{раб}}$, м.

Ширина захвата / длина рабочего гона — $Ш_0$, м / l_z , м.

Вид обработки: загонный — заг-й; челночный — чел-й.

Программный код технического способа построения программного обеспечения (фрагмент)

```
unit Unit1;

interface

uses
  Winapi.Windows, Winapi.Messages, System.SysUtils, System.Variants,
  System.Classes, Vcl.Graphics,
  Vcl.Controls, Vcl.Forms, Vcl.Dialogs, IdIOHandler, IdIOHandlerSocket,
  IdIOHandlerStack, IdSSL, IdSSLOpenSSL, IdBaseComponent, IdComponent,
  IdTCPConnection, IdTCPClient, IdHTTP, Vcl.StdCtrls, math, Vcl.Imaging.jpeg,
  Vcl.ExtCtrls, Vcl.ComCtrls, Vcl.Buttons, comobj, Vcl.Grids;

type
  TForm1 = class(TForm)
    HTTP: TIdHTTP;
    IdSSLIOHandlerSocketOpenSSL1: TIdSSLIOHandlerSocketOpenSSL;
    .....
  form1.xls_to_stringgrid(stringgrid7,s+'\data\nормативы времени.xlsx');
    form1.xls_to_stringgrid(stringgrid8,s+'\data\эксплуатация
опрыскивание.xlsx');
    form1.xls_to_stringgrid(stringgrid9,s+'\data\эксплуатация          сыпучие
химикаты.xlsx');
    for i := 1 to stringgrid4.RowCount-1 do
      combobox4.Items.Add(stringgrid4.Cells[0,i]);

  end;

end.
```

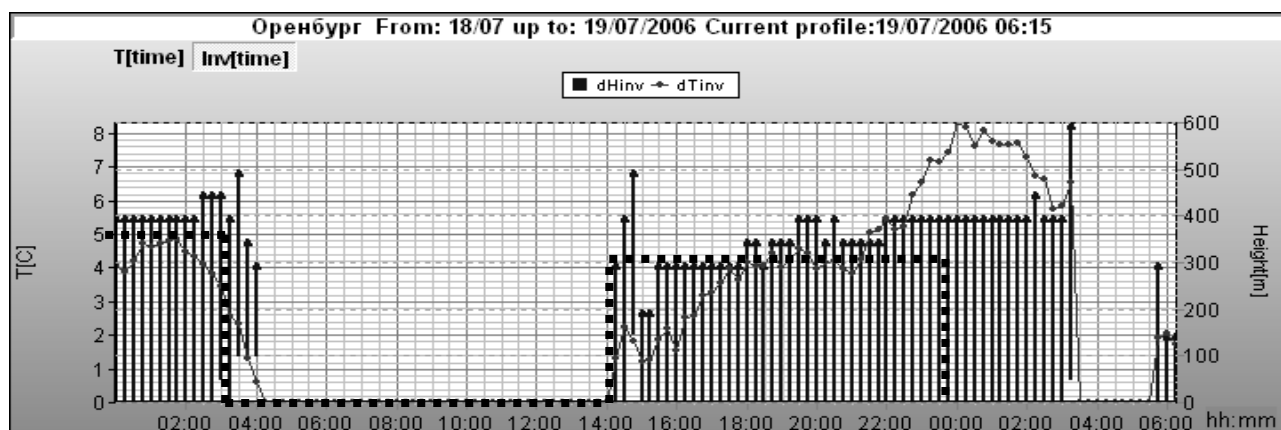
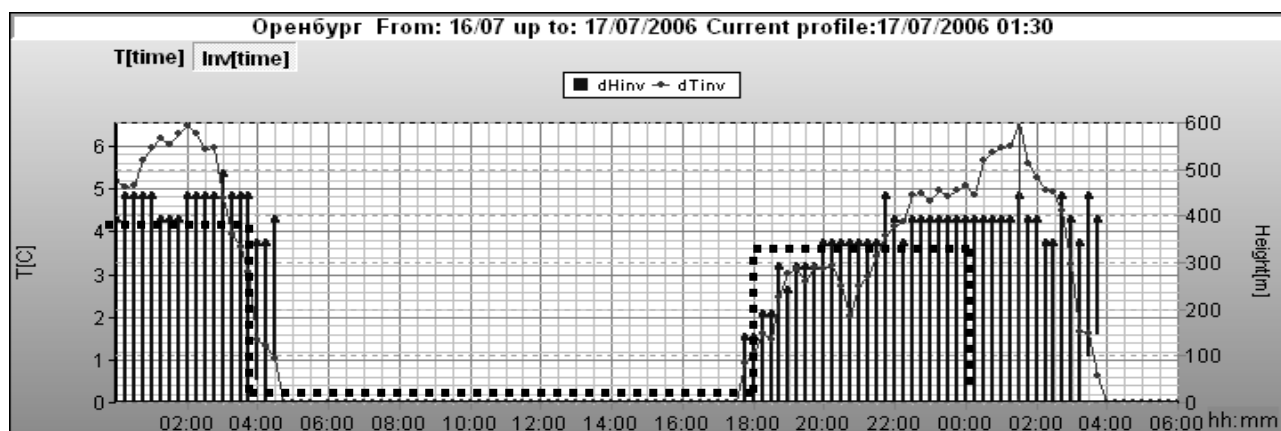
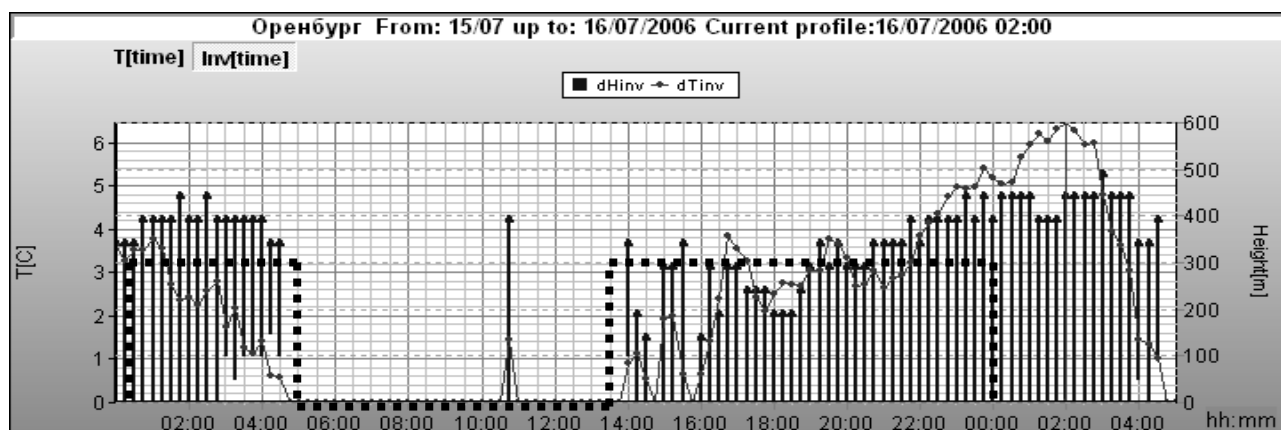
Приложение В (обязательное)

Базы данных локальных метеорологических состояний (фрагмент)

GMT	TIME _NUM	CLOUDS _HI	CLOUDS _LO	BORDER _LO	VISIBIL	WIND _DIR	WIND _MIDL	WIND _GUST	TEMP
21,00	21,00	1000	0	0	25000	2	3	4	3,2
23,00	23,00	4000	0	0	25000	2	3	4	1,1
0,00	0,00	3000	0	0	25000	2	3	4	1,2
3,00	3,00	9000	0	0	25000	2	3	5	1,2
6,00	6,00	9000	0	0	25000	11	2	4	7,7
9,00	9,00	10000	0	0	25000	13	0	0	9,1
12,00	12,00	1000	3000	400	10000	13	5	11	7,0
15,00	15,00	10000	5000	400	10000	3	4	8	6,0
18,00	18,00	10000	10000	750	25000	13	4	7	5,5

Приложение Г (обязательное)

Графики наложения прогнозируемых и измеренных значений основных параметров инверсии



**Исходные тексты основных модулей программного комплекса
(фрагмент)**

```
unit FormBaseV_ALT;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,  
Dialogs, dbcgrids, DB, DBTables, StdCtrls, Mask, DBCtrls, ExtCtrls, Menus,  
DBCtrlsEh, DBLookupEh, Grids, DBGridEh,  
Buttons, OleServer, Excel97, DBGRIDEHIMPEXP,  
clipbrd, comobj, ADODB, ToolCtrlsEh, DBLogDlg, frmInDialog;
```

```
type
```

```
TFormBaseV_ALT = class(TForm)
```

```
.....  
//-----
```

```
//    Выполнить скрипт запросов Access
```

```
//-----
```

```
procedure EXEC_ACCESS_SCRIPT(NSCRIPT1:integer);
```

```
//-----
```

```
//    Внутренняя процедура вывода отчета
```

```
//-----
```

```
procedure EXCEL_OUT(  
  SQL_IN:widestring;  
  IS_SAVE:boolean;  
  IS_FIRST:boolean;  
  xlSHEET:string;  
  xlFILE:string;  
  IS_TEMPLATE:boolean;  
  ID_TEMPLATE:integer;  
  ENGINE_TYPE:integer; // 1- COPY 2- ACCESS 3- ODBC  
  IS_Visible:boolean);
```