

**В. Н. ПРЯХИН**  
**М. А. КАРАПЕТЯН**

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ  
НА ОБЪЕКТАХ  
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ**

Учебное пособие

Москва  
ООО «Мегаполис»  
2021

УДК 502(075.8)

ББК 20.18

П 85

**Рецензенты:**

доктор технических наук, профессор кафедры «Техническая эксплуатация технологических машин и оборудования природообустройства» ФГБОУ ВО РГАУ–МСХА имени К. А. Тимирязева **В. А. Евграфов**

доктор технических наук, профессор кафедры «Мелиорация и рекультивация земель» ФГБОУ ВО РГАУ–МСХА имени К. А. Тимирязева **Ю. И. Сухарев**

**Пряхин В. Н., Карапетян М. А.**

П 85 Экологическая оптимизация технологических процессов на объектах природопользования: учебное пособие / В. Н. Пряхин, М. А. Карапетян / ФГБОУ ВО РГАУ–МСХА имени К. А. Тимирязева; Государственный университет «Дубна». – М. : ООО «Мегаполис», 2021. – 143 с.

ISBN 978-5-6046405-2-4

В учебном пособии освещены вопросы экологической безопасности объектов АПК с позиции устойчивого развития, методы оценки степени риска при авариях и катастрофах, методика и алгоритм расчета СМО применительно к сельскохозяйственным объектам. Рассмотрены пути механизации и автоматизации технических средств, эксплуатируемых на объектах АПК. Обоснована необходимость экологической оптимизации промышленного природопользования.

Пособие предназначено для научных работников, специалистов и студентов вузов, интересующихся совершенствованием технологий управления процессами сельскохозяйственного производства.

УДК 502(075.8)

ББК 20.18

ISBN 978-5-6046405-2-4

©Пряхин В. Н.,  
Карапетян М. А., 2021  
©ООО «Мегаполис», 2021

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	6
1. Классификация чрезвычайных ситуаций (ЧС).....	8
1.1. Экологическая безопасность с позиций устойчивого развития общества.....	10
1.2. Обеспечение безопасности жизнедеятельности в чрезвычайных ситуациях.....	11
2. Оценка опасностей возникновения аварий и катастроф в ЧС.....	13
2.1. Критерии оценки эффективности мероприятий по снижению опасности при ЧС.....	14
2.2. Методы и оценки степени риска при авариях на объектах АПК.....	17
3. Оценка риска аварий методами теории надежности.....	21
3.1. Оценка риска аварий на объектах АПК.....	22
3.2. Статистические и экспериментальные исследования риска аварий на объектах АПК.....	27
4. Техническое обслуживание, текущий и капитальный ремонты оборудования на объектах АПК.....	28
4.1. Сроки службы и долговечность ГТС.....	32
4.1.1. Виды ремонтов и состав ремонтно-строительных работ.....	35
4.1.2. Организация ремонта на ГМС.....	36
4.2. Ремонт ГТС мелиоративной сети.....	39
4.3. Методика и алгоритм расчета систем массового обслуживания применительно к объектам АПК.....	42
5. Пути механизации и автоматизации гидравлических устройств, эксплуатируемых на объектах АПК.....	48
5.1. Исследование основных параметров и вероятностных характеристик (СМО), работающих в условиях воздействия на них техногенных нагрузок.....	51
5.2. Экологическая оптимизация промышленного природопользования.....	54
6. Методика агрегатирования каналоочистителя поперечного копания с трактором ДТ-175С.....	56
6.1. Исследование баланса мощности и тяговых характеристик трактора ДТ-175С при агрегатировании с рабочими органами мелиоративного назначения.....	58
6.2. Статический расчет трактора ДТ-175С при агрегатировании с рабочими органами мелиоративных машин.....	61
6.3. Исследование влияния сопротивления рабочего органа на прямолинейность хода трактора ДТ-175С с рабочими органами мелиоративных машин.....	64

6.4. Исследование экономической эффективности использования трактора ДТ-175С в качестве базового шасси мелиоративных машин.....	66
7. Разработка нетрадиционных источников энергии в рамках СИЭОП.....	75
8. Совершенствование технического сервиса машинно-тракторного парка на объектах АПК.....	83
8.1. Причины низкой эффективности использования машин в АПК.....	84
8.2. Условия и особенности эффективного технического сервиса МТП.....	86
9. Математическое моделирование деятельности человека-оператора.....	89
9.1. Напряженность деятельности человека-оператора.....	89
9.2. Влияние напряженности деятельности оператора на качество его работы.....	91
9.3. Функциональное состояние человека-оператора.....	92
9.4. Влияние (ФС) оператора на качество его деятельности.....	94
9.5. Показатели оценки качества деятельности человека-оператора.....	95
10. Математические модели эргодических систем.....	96
10.1. Математическая формализация в системном анализе и синтезе ЭС.....	96
10.2. Передаточные функции, как форма представления моделей ЭС.....	99
10.3. Математические модели объекта управления.....	101
10.3.1. Автомобиль (или трактор), как транспортирующее средство для перемещения грузов на плоскости.....	102
10.3.2. Силовая гиросграмма, как средство управления положением инерционной массы.....	102
10.3.3. Технологический процесс создания работоспособного парка технических устройств (приборов) предприятия АПК.....	103
10.4. Представление математических моделей объектов управления в ЭС на системном уровне.....	104
11. Основные методы оптимизации систем АПК.....	106
11.1. Составление целевых функций.....	107
11.2. Виды целевых функций, используемые в моделях промышленного и сельскохозяйственного производства.....	109
12. Основные методы определения оптимальных параметров системы в условиях сельскохозяйственного производства.....	113
12.1. Статистический метод.....	113
12.2. Метод вариантных расчетов.....	115
12.3. Аналитический метод.....	116
12.4. Метод линейного программирования.....	118
12.5. Применение ЭВМ.....	119

13. Концепция экологической безопасности РФ.....	121
13.1. Виды подходов обеспечения экологической безопасности.....	122
13.2. Цели и задачи экологической безопасности.....	123
14. Масштаб и комплексность задачи в рамках решения проблемы обеспечения экологической безопасности.....	124
14.1. Задачи по обеспечению безопасности жизнедеятельности человека и охране ОС.....	124
14.2. Задачи, исходящие от решения проблемы устойчивого развития и экологической безопасности.....	126
14.3. Задачи, решаемые с помощью исследования технологических процессов и систем управления на объектах производства.....	126
15. Рациональное использование ресурсов и защита окружающей среды.....	128
15.1. Природно-технические комплексы процессов сельскохозяйственного производства.....	128
15.2. Оценка устойчивости развития процессов жизнедеятельности.....	129
16. Оценка состояния сельскохозяйственного земельного фонда РФ.....	131
17. Новые информационные системы управления технологиями растениеводства.....	133
18. Принципы совершенствования производственно-экологической безопасности.....	135
Заключение.....	137
Список литературы.....	139

## **ВВЕДЕНИЕ**

Проблемы сохранения и защиты окружающей среды, экологической безопасности различных видов деятельности человека и связанной с ними его жизнедеятельности и здоровья чрезвычайно актуальны в наше время.

При этом следует отметить, что хотя все экологические проблемы носят глобальный характер, пока еще не создана единая система мониторинга и оценки экологического состояния большой экосистемы с экстраполяцией тенденций в будущее.

Применение системного подхода затруднено сложностью получения исходной информации и отставанием методологии необходимых расчетов при исследовании экосистемы. Кроме того, известный набор методов и инструментов оценки экологической ситуации не обеспечивает необходимого уровня достоверности.

Поэтому реальность сегодняшнего состояния природы и производства требует смены основной парадигмы устойчивого развития мирового сообщества.

Таким образом, одним из перспективных направлений повышения эффективности и устойчивости процессов получения продукции является производство и потребление энергии, которая выступает главным фактором, определяющим рост с.-х. продукции и эффективность производственных технологий.

При этом сочетание двух направлений развития – повышение эффективности с.-х. производства и применение нетрадиционных источников энергии, позволит получить существенный положительный результат в каждом из этих направлений, а также в процессе взаимодействия с целью удовлетворения возрастающих потребностей человечества.

В этом случае не происходит углубление негативного влияния на окружающую среду. Характерной особенностью является то, что это требует рассмотрения природных, технических и производственных составляющих, как единого многокомпонентного комплекса.

Следует отметить, что развернувшаяся в нашем веке беспрецедентная по масштабам инженерная деятельность, вызванные ею изменения природной среды резко увеличили вероятность возникновения катастроф и чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного и техногенного характера.

Однако еще более трагичной стороной этих катастроф и ЧС является массовая гибель населения. Порой по количеству жертв они превосходят даже войны. Человек настолько связан с опасностями, которые сопровождают его на каждом шагу, что зачастую не реагирует на них, пренебрегает мерами предосторожности.

Когда опасное событие в природе или техносфере затрагивает социальную сферу, принято считать, что произошла катастрофа. Именно на стыке этих сфер осуществляется и управление рисками катастроф: их предупреждение, защита населения и территорий, восстановление жизнедеятельности пострадавших регионов.

Теперь стало очевидным, что без принятия экстренных и энергичных мер по борьбе с катаклизмами и катастрофами ни одна страна и даже все человечество не смогут добиться устойчивого развития общества.

## **1. КЛАССИФИКАЦИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ (ЧС)**

Для установления единого подхода к оценке ЧС и объективного реагирования на них ЧС могут классифицироваться по:

- типам;
- видам;
- масштабам;
- тяжести последствий и т. д.

Если брать всю совокупность возможных ЧС, то их можно в первую очередь разделить на конфликтные и бесконфликтные.

К конфликтным могут быть отнесены:

- военные столкновения;
- экстремальная политическая борьба;
- социальные взрывы;
- национальные и религиозные конфликты;
- терроризм;
- разум уголовной преступности и т. д.

Бесконфликтные ЧС бывают:

- природные;
- техногенные;
- экологические.

При этом они могут быть классифицированы по экологическому числу признаков, описывающих явления с различных сторон их природы и свойств.

Согласно Федеральному закону «О защите населения и территорий от ЧС (природного и техногенного характера)» и Положению о



классификации ЧС природного и техногенного характера, по масштабу распространения и тяжести последствий ЧС подразделяется на:

- локальные;
- местные;
- территориальные;
- региональные;
- федеральные;
- трансграничные.

Классификация по типам и видам чрезвычайных событий, инициирующих ЧС, имеет следующий вид:

- ЧС природного характера;
- ЧС техногенного характера;
- ЧС экологического характера.

Особо следует остановиться на опасностях природно-техногенного характера и синергетических процессов.

Так, на территориях интенсивного хозяйственного освоения и крупных городов широкое распространение начинают приобретать опасности, получившие название природно-техногенных. Их появление связано с активным антропогенным воздействием на ОПС, под влиянием которого возникают новые или ускоренно развиваются существующие медленно протекающие природные процессы.

К числу природно-техногенных опасностей для городских и промышленных агломераций прежде всего следует отнести наведенную сейсмичность, опускание территорий, подтопление, карсто-во-суффозионные провалы, техногенные геофизические поля и др.

Кроме того, природные бедствия часто носят синергетический характер. Иначе говоря, это значит, что одно природное катастрофическое явление вызывает целую цепочку других.

Например, землетрясение может стать причиной возникновения цунами, оползней, селей и обвалов, подтопления порождает просадки лесов, нагонные ветры – затопления территорий.

При этом нередко вызванное природное явление по своей разрушительной силе не уступает инициировавшему его, а в ряде случаев даже превосходит последнее. Порой суммарный ущерб от синергетической катастрофы превосходит сумму ущербов от каждого из составляющих ее бедственных процессов при отдельном их развитии.

## **1.1. Экологическая безопасность с позиций устойчивого развития общества**

В условиях всевозрастающей хозяйственной деятельности человека все более важным показателем качества проектирования, строительства и эксплуатации различных народнохозяйственных объектов становится учет требований охраны окружающей природной среды (ОПС).

На протяжении всей истории человек приспособлялся к среде обитания, стремясь обеспечить комфортные условия своей жизнедеятельности. При этом поддержание и повышение достигнутого уровня жизни требует использования природных ресурсов во все больших объемах.

По мере использования обществом природных ресурсов возрастает количество выбросов, пагубно влияющих на состояние биосферы. Одно из таких воздействий (так называемый «парниковый эффект») вызывает потепление на планете.

При этом необходимость регулирования выбросов в международном масштабе отражает общественную значимость этой проблемы. Отметим, что целый ряд жизненно необходимых природных ресурсов находится на грани истощения.

Так, например, в нашей стране ежегодные убытки от загрязнения ОПС только за счет потери производительности труда вследствие заболеваний составляют около 50 млрд руб. (в ценах 1991 года).

Устойчивое развитие общества, на наш взгляд, немыслимо без соблюдения основных принципов и норм при разработке современной техники и новейших технологических процессов (в том числе, при создании безопасной гидромелиоративной техники).

Приведем основные направления разработки и исследования экологически безопасных образцов этой техники:

- выбор веществ и материалов для изготовления технических средств (ТС), которые не наносили бы вреда ОПС;
- разработка ТС, конструкция которого обеспечивала бы максимальную повторяемость его использования;
- обеспечение экологически безопасных технологических процессов и режимов эксплуатации ТС;

- максимальное использование экологически безопасных и безотходных ресурсосберегающих технологий при изготовлении ТС.

В этой связи, вопросам экологической безопасности и охраны ОПС надлежит, на наш взгляд, уделять внимание на всех этапах создания ТС, а также при его утилизации.

## **1.2. Обеспечение безопасности жизнедеятельности в чрезвычайных ситуациях**

Как известно, любая деятельность человека связана с определенной степенью риска вредного воздействия, результатом которого могут быть травма, заболевание или смерть.

При этом проблема определения приемлемого риска в различных сферах деятельности различных сферах деятельности современного человека имеет следующие основные аспекты:

- социальные;
- экономические;
- психологические.

Являясь стохастической величиной, риск зависит от очень многих причин, причем за его количественную меру принимается средний риск смерти в расчете на 1 чел. в год.

Расчет уровней риска производится на основе анализа частноты событий (смерть, травма или заболевание) в выделенной группе людей, занимающихся определенной деятельностью.

Как правило, это работники одной отрасли, жители района, области, страны и т. д. При этом частота событий определяется по статистическим данным за год (или за большой промежуток времени).

Так, установлено, что для мужчин в возрасте 45–50 лет риск смерти от болезней примерно в 10 раз больше, чем в возрасте 25–30 лет. Тогда как, в возрастной группе 20–25 лет значение риска смерти от несчастных случаев для мужчин в 2,7 раза больше риска смерти от болезней.

Примерный уровень профессионального риска смерти для современного человека в промышленно развитых странах находится в интервале  $(1...5)10^{-4}$ .

Кроме того, значительно возросшее количество и тяжесть природных и техногенных катастроф представляет значительную проблему для органов здравоохранения. Поэтому прогнозирование, предупреждение и ликвидация последствий стихийных бедствий и других катастроф – это проблемы, актуальность которых для всего мирового сообщества постоянно растет.

В этой связи, отметим несколько основных направлений борьбы с катастрофами:

- сведение к минимуму числа пострадавших, если бедствие нельзя предотвратить;
- спасение жертв катастрофы;
- своевременное обеспечение первой медицинской помощи;
- оказание раненым последующих видов медицинской помощи с эвакуацией в медицинские учреждения;
- создание пострадавшим нормальных условий для жизнедеятельности.

## **2. ОЦЕНКА ОПАСНОСТЕЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙ И КАТАСТРОФ В ЧС**

Меры, направленные на повышение безопасности при ЧС, принято делить на 2 категории:

- мероприятия, проводимые после возникновения ЧС (т. е. оперативные мероприятия, которые сводятся к защите населения и ликвидации последствий ЧС);
- мероприятия, проводимые заблаговременно (например, повышение надежности технологического оборудования на потенциально опасные объекты; снижение запасов опасных веществ на объектах: вывод опасного объекта за пределы города; заблаговременные мероприятия по защите населения).

К сожалению, в настоящее время в России основное внимание уделяется оперативным мероприятиям и существенно меньше – мероприятиям, проводимым заблаговременно.

Тогда как, исходя из цели достижения наибольшей безопасности, приоритет, на наш взгляд, следует отдавать заблаговременным мероприятиям.

При этом главное затруднение на этом пути – ограниченные возможности финансирования. В этой связи важно выявить возможности наиболее эффективно использовать денежные средства для снижения степени риска поражения людей и населения материального ущерба.

Следует отметить, что для некоторых отраслей промышленности и сельского хозяйства они составляют 20...25 % от общих расходов на создание производства.

## 2.1. Критерии оценки эффективности мероприятий по снижению опасности при ЧС

Известные в настоящее время детерминистические методы оценки опасности дают значение опасности только для одной реализации исходных данных без оценки вероятностных характеристик, которые могут изменяться в широких пределах.

Кроме этого, отсутствуют признанные критерии оценки эффективности финансирования мер по повышению безопасности при ЧС (несмотря на развитие теоретических основ системы управления риском, позволяющих оценить эффективность решений в области обеспечения безопасности и определить приемлемый уровень риска).

В ряде стран в качестве общей оценки величины ущерба или выигрыша от той или иной деятельности используются средняя ожидаемая продолжительность предстоящей жизни (СЛППЖ) и стоимость продления жизни ( $S_{сэе}$ ).

Однако, применение этих критериев затрудняется тем, что СОППЖ по мере увеличения уровня экономического развития асимптотически приближается к некоторому предельному значению, а  $S_{сэе}$  неограниченно увеличивается (в связи с чем, на некотором уровне развития общества любая деятельность по снижению степени риска становится малоэффективной).

Сложность и многообразие связей, затруднения в получении исходных данных (в частности, по влиянию финансирования той или иной деятельности на продолжение жизни людей) могут приводить к неадекватным результатам.

При этом возникает необходимость в разработке дополнительных критериев, которые позволяли бы сравнительно просто, но с достаточной точностью производить оценку эффективности различных мероприятий по снижению опасности при ЧС.

Пусть задано несколько возможных мероприятий по снижению риска и требуется определить рациональные объемы выполнения этих мероприятий.

Ограничительным, т. е. дисциплинирующим, условием здесь может выступить количество денежных средств, выделяемых на данном этапе проведения мер. В качестве показателя эффективности можно использовать величину потерь среди населения. Заметим, что оптимальным будет решение, при котором указанный показатель

примет минимальное значение.

При этом возможные потери среди населения – случайная величина, зависящая от ряда случайных величин.

Так, например, при авариях потеря зависит от количества вылившегося при аварии СДЯВ, а также от направления и скорости ветра, степени вертикальной устойчивости и температуры приземленного слоя воздуха. Поэтому величину возможных потерь целесообразно выражать математическим ожиданием, т. е. средневзвешенной по вероятности величиной потерь.

Поскольку заранее трудно определить, какая сумма денежных средств для указанных целей будет выделена, то в качестве критерия следует выбирать такой показатель эффективности, который решил бы эту задачу, причем независимо от выделяемых средств.

Величина потерь среди населения  $M(N)$  монотонно уменьшается с увеличением затрат. Следовательно, с позиции данного критерия, чем больше затраты на проводимые мероприятия, тем лучше.

Другим критерием может служить стоимость проводимых мероприятий. Этот критерий, наоборот, требует, чтобы стоимость была бы как можно меньше.

Таким образом, требования этих критериев противоречат друг другу и не позволяют прийти к окончательному решению.

В нашем случае, при выборе критерия мы будем исходить из того, что денежные средства выделяются на повышение безопасности при ЧС поэтапно.

При этом на каждом этапе происходит определенное снижение степени риска. Задача заключается в том, чтобы на каждом этапе достигался наибольший эффект использования денежных средств, выражающийся в наибольшем количестве предотвращенных потерь.

В ряде источников рекомендуется в аналогичных случаях использовать критерий, который применительно к рассматриваемой задаче имеет вид:

$$\eta_i = \frac{C_i}{M_0(N) - M_i(N)}, \quad (2.1)$$

где  $C_i$  – размер затрат на проведение  $i$ -го мероприятия;  $M_0(N)$  – математическое ожидание (М.О.) потерь до проведения  $i$ -го мероприятия;  $M_i(N)$  – то же, но после проведения  $i$ -го мероприятия

Заметим, что величина  $\eta_i$  представляет собой затраты на предотвращение поражения одного человека в результате проведения комплекса мер или одного мероприятия или – стоимость одного спасенного. Тогда как, обратная величина  $1/\eta_i$  представляет количество спасенных от гибели (или поражения) людей на единицу денежных затрат.

Потери среди населения, как известно, могут быть:

- общими;
- санитарными;
- смертельными (летальными).

Под общими потерями принято понимать сумму потерь смертельных и санитарных. В зависимости от характера задачи по оценке эффективности могут учитываться те или иные виды потерь.

Поскольку возможны ЧС техногенного и природного характера, наряду с поражением людей, может возникнуть материальный ущерб. К таким ЧС относятся:

- взрывы;
- пожары;
- землетрясения;
- ураганы;
- наводнения и т. п.

При этом стоит задача снижения не только потерь среди населения, но и величины возможного материального ущерба.

Оценку эффективности в этом случае нужно производить отдельно, т.е. оценку по снижению степени риска гибели (поражения) людей производить по критерию (2.1), а оценку эффективности по снижению ущерба – по критерию:

$$\begin{aligned} v_i &= \Delta M_i(S_{y_i}) - C_i; \\ \Delta M_i(S_{y_i}) &= M_0(S_y) - M_i(S_{y_i}), \end{aligned} \quad (2.2)$$

где  $C_i$  – стоимость  $i$ -го мероприятия по снижению ущерба;  $\Delta M_i(S_{y_i})$  – математическое ожидание (М.О.) снижения стоимости нанесенного ущерба от  $i$ -го мероприятия;  $M_0(S_y)$  и  $M_i(S_{y_i})$  – соответственно М.О. стоимость ущерба без и в результате  $i$ -го мероприятия



Заметим, что рассматриваемое  $i$ -е мероприятие целесообразно проводить лишь при условии  $v_i > 0$ .

При этом чем больше величина  $v_i$ , тем выше эффективность  $i$ -го мероприятия. Выполнение вышеуказанного неравенства означает, что в результате проведения данного мероприятия происходит снижение стоимости нанесенного ущерба в среднем больше, чем стоимость самого мероприятия.

Если раздельное рассмотрение критериев – (2.1) и (2.2) то приводит к заключению о нецелесообразности  $i$ -го мероприятия, может быть оправдано применение комплексного критерия, учитывающего как возможные поражения людей, так и ущерб:

$$\mu_i = \frac{C_i - \Delta M_i(S_{yi})}{M_0(N) - M_i(N)}. \quad (2.3)$$

Критерий (2.3) применим только в случае соблюдения условия  $v_i < 0$ . Смысл этого критерия такой же, как и критерия (2.1), с той лишь разницей, что при определении этого критерия из стоимости проведения  $i$ -го мероприятия вычитается математическое ожидание снижения стоимости ущерба.

Для использование критериев (2.1) и (2.3) необходимо располагать методиками по определению М.О. потерь среди населения  $M_0(N), M_i(N)$ , М.О. снижения стоимости ущерба  $\Delta M_i(S_{yi})$ , а также М.О. ущерба.

## 2.2. Методы оценки степени риска при авариях на объектах АПК

Как правило, методы оценки степени риска основываются на представлении основных исходных данных случайными величинами.

При этом метод определения М.О. потерь или ущерба состоит в интегрировании произведения функции плотности распределения системы случайных величин и функции потерь от ущерба, зависящих от реализации случайных величин:

$$M(N) = P_a \int_{Z_{1,h}}^{Z_{1,k}} \int_{Z_{2,h}}^{Z_{2,k}} \dots \int_{Z_{n,h}}^{Z_{n,k}} f(Z_1, Z_2, \dots, Z_n) \times \\ \times N \cdot (Z_1, Z_2, \dots, Z_n) \cdot dZ_1 \cdot dZ_2 \dots dZ_n, \quad (2.4)$$

где  $P_a$  – вероятность ЧС;  $Z_1, Z_2, \dots, Z_n$  – случайные величины;  $f(Z_1, Z_2, \dots, Z_n)$  – плотность распределения системы случайных величин;  $N(Z_1, Z_2, \dots, Z_n)$  – функция потерь;  $h$  и  $k$  – индексы в пределах интегрирования, обозначающие минимальные и максимальные возможные значения.

Аналогичный вид имеет формула для определения М.О. ущерба. Для преобразования формулы (2.4) в зависимости для определения М.О. ущерба достаточно заменить функцию потерь на функцию ущерба.

Рассмотрим методику определения риска поражения людей и нанесения ущерба, применительно к условиям взрыва газовой смеси вне здания при разрушении емкости со сжатым газом с учетом возможности, как детонации, так и дефлаграции, оценивая такую возможность соответствующей вероятностью.

Параметры как дефлаграционного, так и детонационного взрыва зависят от количества испарившегося при аварии взрывоопасного продукта, от момента воспламенения горючей смеси и от температуры атмосферного воздуха. Эти исходные данные являются случайными величинами, подчиняющимися своим законом распределения.

М.О. числа пораженных и величины ущерба при взрыве газовой смеси могут быть определены с использованием следующих формул:

$$M(N) = P_a \int_{t_h}^{t_k} \int_{q_h}^{q_k} \int_{\tau_h}^{\tau_k} f(t, q, \tau) \times \\ \times [P_{\text{def}} N_{\text{def}}(t, q, \tau) + P_{\text{det}} N_{\text{det}}(t, q, \tau)] dt \cdot dq \cdot d\tau; \quad (2.5)$$

$$M(V) = P_a \int_{t_h}^{t_k} \int_{q_h}^{q_k} \int_{\tau_h}^{\tau_k} f(t, q, \tau) \times \\ \times [P_{\text{def}} V_{\text{def}}(t, q, \tau) + P_{\text{det}} V_{\text{det}}(t, q, \tau)] dt \cdot dq \cdot d\tau, \quad (2.6)$$

где  $M(N)$  и  $M(V)$  – М.О. пораженных и ущерба (объем разрушений);  $P_a$  – вероятность аварии, сопровождающейся взрывом газовой смеси;  $q$  – количество испарившегося взрывоопасного продукта (сожженного газа, легких нефтепродуктов и т. п.);  $\tau$  – момент воспламенения газовой смеси;  $P_{\text{def}}$  и  $P_{\text{det}}$  – вероятность реализации режима дефлаграции и детонации ( $P_{\text{def}} + P_{\text{det}}$ ) +  $P_{\text{det}}$ );  $f(t, q, \tau)$  – плотность распределения системы случайных величин  $f, q$  и

$\tau$ ;  $N_{\text{def}}(t, q, \tau)$  и  $N_{\text{det}}(t, q, \tau)$  – количество пораженных при заданной реализации  $t$ ,  $q$  и  $\tau$ , соответственно, для режима дефлагмации и детонации;  $V_{\text{def}}(t, q, \tau)$  и  $V_{\text{det}}(t, q, \tau)$  – объем разрушений, возникающий при заданной реализации  $t$ ,  $q$  и  $\tau$ .

В виду того, что случайные величины  $t$ ,  $q$  и  $\tau$  практически можно считать независимыми, то функция  $f(t, q, \tau)$  может быть представлена в виде:

$$f(t, q, \tau) = f_1(t)f_2(q)f_3(\tau), \quad (2.7)$$

где  $f_1(t)$ ,  $f_2(q)$  и  $f_3(\tau)$  – функции плотности распределения соответствующих случайных величин.

С учетом (2.7) формулы (2.5) и (2.6) могут быть существенно упрощены.

При этом количество пораженных при заданной реализации случайных величин для режима дефлагмации может быть определено по формуле:

$$N_{\text{def}}(t, q, \tau) = 2\pi \int_0^{R_k} P_{\text{ndef}} \times [P_{\text{max}}(r, t, q, \tau)] r \rho(r) dr, \quad (2.8)$$

где  $r$  – удаление от центра газозадышенного облака;  $R_k$  – минимальное расстояние от центра облака, на котором вероятность поражения людей практически равна нулю;  $P_{\text{max}}(r, t, q, \tau)$  – максимальное давление, действующее на удаление  $r$  от центра газозадышенного облака при соответствующей реализации случайных величин  $t$ ,  $q$  и  $\tau$ ;  $P_{\text{ndef}}(P_{\text{max}})$  – вероятность поражения людей при дефлагмации газозадышенной смеси и воздействии волны сжатия с максимальным давлением  $P_{\text{max}}$ ;  $\rho(r)$  – средняя плотность расположения людей на удалении  $r$  от центра газозадышенного облака.

Аналогичным образом могут быть определены величины  $N_{\text{def}}(t, q, \tau)$ ,  $V_{\text{def}}(t, q, \tau)$  и  $V_{\text{det}}(t, q, \tau)$ .

Затем, применяя изложенные принципы определения М.О. потерь и ущерба, можно вычислить значения критериев (2.1)...(2.3) и оценить эффективность мероприятий по снижению степени риска различных ЧС. Например, при авариях на взрывоопасных объектах с выявлением приоритетов мероприятий по повышению эффективности природоохранных устройств для снижения возникающих при аварийном взрыве нагрузок внутри здания.

Проблема оценки эффективности мероприятий по снижению риска различных ЧС и выявления на этой основе приоритетов их

проведения приобретает в настоящее время наиболее важное значение из всей совокупности проблем повышения безопасности при ЧС.

Таким образом, изложенные принципы оценки риска открывают большие возможности по установлению эффективности мероприятий, направленных на снижение опасности различных ЧС.

### 3. ОЦЕНКА РИСКА АВАРИЙ МЕТОДАМИ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ

Оценка степени риска поражения людей и нанесения ущерба при авариях связаны с задачей прогнозирования показателей надежности и остаточного ресурса функционирующей системы.

При этом наиболее важным вопросом является установление допустимых сроков дальнейшей эксплуатации индивидуального объекта при конкретном значении риска аварии. Ответственность за соответствующие инженерные решения о мерах по снижению риска или о приостановки функционирования объекта лежит на комиссии, в состав которой должны входить специалисты-эксперты и представители администрации. Одним из основных показателей надежности объекта является вероятность  $P(t)$  безотказной работы на некотором временном интервале или функция надежности.

Функция  $Q(t)=1-P(t)$ , дополняющая  $P(t)$  до единицы и характеризующая вероятность отказа, является функцией риска аварии – поражения людей и нанесения материального ущерба.

Для оценки риска, как правило, применяются модели высоконадежных систем, для которых аварийные ситуации представляют редкие события, а также модели стареющих систем, качество которых в процессе эксплуатации ухудшается вследствие ползучести, различных видов усталости, износа и др. видов повреждений.

Прогнозирование аварийных ситуаций возможно, например, на основе элементарной статистики и дискретного распределения Пуассона, как правило, применяемого к редким событиям и различным природным явлениям.

### 3.1. Оценка риска аварий на объектах АПК

Функцией риска аварии из-за отказа нормального функционирования объекта является вероятность отказа:

$$\begin{aligned} H(t) &= 1 - P(t); \\ P(t) &= \exp\left\{-\int_0^t \lambda(\xi) d\xi\right\}; \\ \lambda(t) &= -P'(t) / P(t), \end{aligned} \quad (3.1)$$

где  $P(t)$  – вероятность безотказной работы (функция надежности);  $\lambda(t)$  – интенсивность отказов, равная вероятности того, что после безотказной работы до момента времени  $t$  авария произойдет в следующем малом отрезке времени.

Практика показывает, что после небольшого начального периода эксплуатации (приработки) функция  $\lambda(t)$  длительный период достаточно стабильна, т. е.  $\lambda(t) = \text{const}$ .

При этом влияние интенсивного старения за счет коррозионного износа, усталости и др. факторов должно исключаться регламентированием допустимого срока службы. Принимая для периода нормального (спокойного) функционирования  $\lambda(t) = \text{const}$ , из (3.1) получаем экспоненциальное распределение:

$$P(t) = \exp(-\lambda t) \quad (3.2)$$

при чем  $\bar{\theta} = 1/\lambda$  – математическое ожидание (М.О.) срока службы (ресурса) или средняя наработка на отказ.

Тогда функцию риска запишем в виде:

$$H(t) = 1 - \exp(-t/\bar{\theta}). \quad (3.3)$$

При функции надежности в виде (3.2) частота отказов в системе однотипных объектов (поток случайных событий) соответствует дискретному распределению Пуассона:

$$Q(N, \lambda\tau) = \frac{(\lambda\tau)^N}{N!} \exp(-\lambda\tau), \quad (3.4)$$

при  $N = 0, 1, 2, \dots \lambda\tau > 0$ .

Согласно данной формуле, аварии на временном интервале  $\tau$  ( $t, t + \tau$ ) произойдут  $N$  раз с вероятностью  $Q(0, \lambda\tau)$ , а отсутствие аварийных ситуаций (отсутствие отказов) – с вероятностью:

$$Q(0, \lambda\tau) = \exp(-\lambda\tau). \quad (3.5)$$

Вероятность того, что аварии произойдут  $n$  раз при  $n < N$  (т. е. менее  $N$  раз), определяется функцией распределения:

$$Q_0(n < N) = \sum_{i=0}^{N-1} Q(i, \lambda\tau) = 1 - \varphi(N, \lambda\tau), \quad (3.6)$$

$$\text{где } \varphi(N, \lambda\tau) = Q_0(n \geq N) = \sum_{i=N}^{\infty} Q(i, \lambda\tau).$$

При этом вероятность  $\bar{Q}$  возникновения хотя бы одной аварии представляет оценку риска аварий на объекте в период  $\tau$ :

$$\bar{Q} = 1 - Q(0, \lambda\tau) = 1 - \exp(-\lambda\tau). \quad (3.7)$$

Для М.О.  $\hat{N}$ , дисперсии  $D$  и стандарта (т. е. среднеквадратичного отклонения)  $\sigma$  имеет место равенство

$$\hat{N} = D = \sigma^2 = \lambda\tau.$$

Другими словами, имеется возможность экспериментальной проверки правдоподобия гипотезы применимости закона Пуассона к конкретному виду аварии по факту хотя бы приблизительного соблюдения равенства  $\hat{N} = D$ .

Таким образом, прогнозирование аварийных ситуаций возможно на основе элементарной статистики. Такого рода данные представляют интерес при принятии решений о мерах по снижению степени риска аварий на объектах.

Значения вероятности аварий  $Q(N, \lambda\tau)$  и риска возможной аварии  $Q$  для числа  $N \leq 5$  приведены в таблице 3.1 и на рисунке (3.1).

Закон Пуассона является частным (предельным) случаем биномиального распределения при большом числе маловероятных событий. Поэтому формула Пуассона иногда представляют как закон редких явлений.

На рисунке 3.2 показано распределение Пуассона для нескольких значений  $\lambda\tau$ , из которых видно, что при больших значениях ( $\lambda\tau \geq 10$ ) распределение приближается к нормальному распределению при  $\mu = \sigma^2 = \lambda\tau$ :

$$f(x, \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp \left[ -\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2} \right] \quad (3.8)$$

**Таблица 3.1 – Вероятность  $N$  аварий и оценка риска аварийности  $\bar{Q}$  в зависимости от параметра  $\lambda t$  (согласно распределению Пуассона)**

$N$	0,1	0,2	0,3	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
0	0,905	0,819	0,741	0,607	0,368	0,135	0,050	0,018	0,007
1	0,0045	0,016	0,222	0,303	0,368				
2	0,0045	0,016	0,033	0,076	0,184	0,271			
3	0,0002	0,0011	0,033	0,013	0,061	0,180	0,224		
4		0,001	0,0003	0,0016	0,015	0,090	0,168	0,195	
5				0,0002	0,003	0,036	0,101	0,156	0,176
$\bar{Q}$	0,095	0,181	0,259	0,393	0,632	0,865	0,950	0,982	0,993

Оценку надежности производственных установок и различной аппаратуры, а также обслуживания персоналом проводим с использованием биномиального распределения подсчетом вероятности как частоты  $r$  успешных событий (например, пусков и т. п.) при общем числе  $n$ .

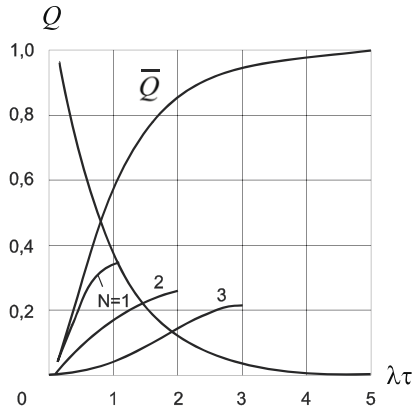
Доверительный интервал для фактической вероятности  $P_T$  определяется уравнением:

$$\sum_{j=r}^n \binom{n}{j} P^j (1-P)^{n-1} = 1 - \alpha, \quad (3.9)$$

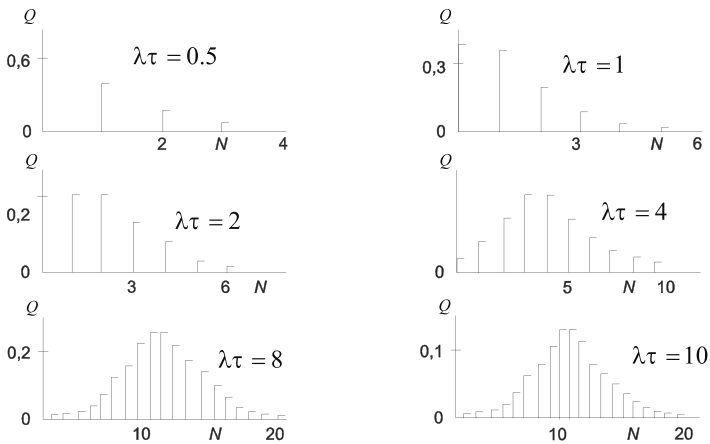
где  $\binom{n}{j} = n! / [j!(n-j)!]$  – биномиальные коэффициенты;  $P$  – нижняя граница искомой надежности  $P_T$ ;  $\alpha$  – достоверность того, что фактическая вероятность  $P_T$  находится в интервале  $P \dots 1$ .

Здесь значения вероятности  $P_T$  при достоверности  $\alpha = 0,8$  приведены в таблице 3.2. для 3-х значений  $n$ .





**Рисунок 3.1 – Вероятность аварий и оценка риска  $\bar{Q}$  аварийности в зависимости от параметра  $\lambda\tau$**



**Рисунок 3.2 – Распределение Пуассона для 6-ти значений  $\lambda\tau$**

**Таблица 3.2 – Вероятность успешных (безаварийных) событий с достоверностью 0,8 при различных значениях  $r$**

$n$	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
10	0,083	0,240	0,418	0,619	0,851					
15	0,056	0,157	0,272	0,394	0,524	0,662	0,813			
20	0,041	0,117	0,201	0,291	0,384	0,481	0,582	0,686	0,798	0,922

Рассмотрим альтернативный подход с привлечением модели, учитывающей некоторые физические процессы, полагая, что авария на взрывоопасном объекте возникает в результате накопления элементарных повреждений  $Y$  при достижении некоторого предельно-достижимого износа  $M$ .

При этом процесс накопления повреждений фиксируется функцией износа  $\eta(t)$ . Принимаем, что отказ наступает при условии  $\eta(t) \geq M$  и количестве элементарных повреждений  $r = M/Y$ .

Для объектов с высокой однородностью начального качества (обеспечивается жестким контролем качества материалов и технологии производства, что обычно реализуется при изготовлении труб, сосудов, резервуаров и газгольдеров) расчет вероятности отказа (аварии) возможен с использованием модели монотонно стареющих систем, т.е. накапливающимися повреждениями, на основе гамма-распределения времени  $T$  функционирования:

$$F(T) = \frac{1}{\Gamma(r)} \lambda^r T^{r-1} \cdot \exp(-\lambda T), \quad (3.10)$$

где  $\Gamma(r)$  – гамма-функция;  $\lambda = y^{-1} dM[\eta(t)]/dt$  – скорость износа

Для целых значений  $r$  гамма-функция  $\Gamma(r) = (r-1)!$ .

При этом  $\lambda$  – средняя скорость износа и функция распределения, т. е. гамма-распределения, имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} Q(N, \lambda T) &= 1 - \sum_{k=0}^{r-1} \frac{(\lambda T)^k}{k!} \exp(-\lambda T) = \\ &= 1 - \exp(-\lambda T) \left[ 1 + \lambda T + (\lambda T)^2 / 2! + \dots + (\lambda T)^{r-1} / (r-1)! \right]. \end{aligned} \quad (3.11)$$

В случае  $r = 1$  выражение (3.11) соответствует плотности экспоненциального распределения (мгновенный выход из строя при однократном повреждении).

Один из методов определения параметров  $\lambda$  и  $r$  основан на данных о времени безотказной работы  $\tau_i$  для  $N$  однотипных объектов.

Тогда средняя для  $\bar{\tau}$  и дисперсия  $S_{\tau}^2$  времени безотказной работы вычисляется по формулам:

$$\bar{\tau} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N \tau_i; S_{\tau}^2 = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N (\tau_i - \bar{\tau})^2. \quad (3.12)$$

При этом значения искомых параметров определяем из соотношений:

$$\lambda = \bar{\tau} / S_{\tau}^2; \quad r = \bar{\tau}^2 / S_{\tau}^2. \quad (3.13)$$

Прогноз аварийности объектов, эксплуатируемых после истечения срока службы, возможен и на основе распределения Вейбулла:

$$P(t) = \exp[-(\lambda t)^{\beta}] \text{ при } \beta > 0,$$

которое обобщает экспоненциальное распределение (при  $\beta = 1$ ).

При этом параметр  $\beta$  характеризует изменение интенсивности отказов, например, за счет старения. Заметим, что сложность практического использования закона Вейбулла заключается в ограниченности данных по параметру  $\beta$ .

### **3.2. Статические и экспериментальные исследования риска аварий на объектах АПК**

1. На животноводческой ферме произошло 4 аварии, т. е. среднее количество аварий:

$$\lambda = 4/20 = 0,2 \text{ шт}^{-1}.$$

Тогда за период  $\tau = 2$  года 2 аварии ( $N = 2$ ) могут произойти с вероятностью:  $Q(0; 0,4) = \exp(-0,4) = 0,67$ .

В течение 1 года  $Q(0; 0,2) = \exp(-0,2) = 0,82$ , т. е. риск аварийных ситуаций за двухлетний период составит:

$$1 - 0,67 = 0,33,$$

а за 1 год соответственно 0,18.

2. Средняя скорость износа агрегата АПК с взрывоопасным эргоносителем  $\lambda = 0,02$  1/ч.

При этом предельное количество элементарных повреждений  $r = 6$ .

Агрегат функционирует 3 ч в сутки.

Определим риск аварий в течение 7 дней.

За указанный срок время работы агрегата  $T = 7 \times 3 = 21$  ч;

$$\lambda T = 0,42.$$

По формуле (3.11) оценка величины риска будет:

$$\bar{R}(0,42) = 1 - \exp(-0,42) \left( 1 + 0,42 + 0,42^{2/2} + 0,42^{3/6} + 0,42^{4/24} + 0,42^{5/120} \right) = 5,33 \cdot 10^{-6}.$$

#### **4. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ, ТЕКУЩИЙ И КАПИТАЛЬНЫЙ РЕМОНТЫ ОБОРУДОВАНИЯ НА ОБЪЕКТАХ АПК**

Состав работ при обслуживании и ремонтах оборудования рассмотрим на примере эксплуатации водозаборных скважин.

Под техническим обслуживанием понимают поддержание необходимых для нормальной работы скважины и насоса в межремонтные периоды. После сооружения или при подготовке к планово-предупредительной системе обслуживания необходим постоянный контроль за работой скважины и систематическое ее обслуживание.

Порядок проведения технического обслуживания скважин следующий:

- работник хозяйства должен, согласно инструкции, ежедневно проверять исправность наземного оборудования и контрольно-измерительных приборов;
- по мере надобности запускать насос и останавливать его;
- один раз в неделю измерять статистический и динамический уровень;
- определять суточный расход воды;
- ежедневно записывать в журнал показания водомера, манометра и др. приборов;
- фиксировать появление песка в воде;
- устранять мелкие неполадки в устьевом оборудовании;
- осуществлять уход за насосной станцией и зоной санитарной охраны.

При появлении в воде песка или падении динамического уровня до верхней части погруженного насоса забор воды сокращают или полностью прекращают.

Водохозяйственные организации должны иметь (в штате или по договору) для проведения технического обслуживания скважин квалифицированных специалистов, которые обязаны: 2...4 раза в год проверять журнал эксплуатации скважины; организовывать работы по устранению мелких неисправностей оборудования и регулированию режима эксплуатации скважины; проводить контрольные замеры дебита, устьевого давления, статического и динамического уровней; определять наличие песка в воде, снижение удельного дебита; отбирать пробы воды на химический и бактериологический анализы; консультировать работника хозяйства, который обслуживает скважину; проверять качество ведения журнала по эксплуатации скважины и др.

На основании собранных данных специалисты водохозяйственной организации оценивают техническое состояние обслуживаемых скважин и планируют ремонтные работы.

Кроме того, в их обязанности входит организация работ по подготовке скважины к переходу на планово-предупредительную систему ремонтов.

Интервал между двумя техническими обслуживаниями скважины называется межосмотровым периодом.

При текущем (профилактическом) ремонте очищают ствол скважины от химических и механических осадков, удаляют из прифилтровой зоны пласты и отверстий фильтра соли, накопившиеся за период эксплуатации.

Состав работ при подготовке к ремонту и его проведении следующий:

- исследование скважины;
- демонтаж и монтаж устьевого оборудования;
- демонтаж и монтаж, осмотр и отбраковка водоподъемных труб и насосов;
- определение высоты песчаной пробки и чистки скважины от песка и упавших предметов;
- очистка внутренних стенок ствола от химических осадков;
- проверка и мелкий ремонт фильтра;

- откачка с исследованием скважины после ремонта и сдача ее в эксплуатацию.

Перед ремонтом исследуют техническое состояние скважины и насоса.

Для этого выполняют следующие мероприятия:

- измеряют статический уровень;
- включают насос;
- измеряют устьевое давление;
- через несколько часов при постоянном дебите определяют понижение уровня и процент песка в воде.

Полученные данные сравнивают с полеченными ранее:

- по разности общих и удельных дебитов устанавливают процент их попадания за время межремонтного периода;
- анализируют изменение статического уровня;
- по количеству выносимого песка определяют интенсивность пескования скважины и т. д.

На основании сопоставления всех данных, включая химический состав воды и осадков, выбирают способ ремонта скважины.

Интервал между профилактическими ремонтами водоподъемного оборудования и скважины можно установить только опытным путем. Завод-изготовитель гарантирует безаварийный срок работы электропогружного насоса обычно в течение 3000 ч, т. е. примерно один календарный год. Однако, в зависимости от интенсивности осадкообразования, коррозии и наличия в воде песка срок бесперебойной работы насосов может быть меньше или больше.

При этом интервал между профилактическими ремонтами скважин определяется в зависимости насосов, зарастания и засорения фильтров.

За рубежом профилактический ремонт скважин проводится через 8–12 месяцев.

Практически в районах, где работы по профилактическому ремонту скважин ранее не проводились, оптимальное время между профилактическими ремонтами можно определить только опытным путем.

Для этого в гидрогеологическом районе необходимо отобрать несколько скважин (желательно новых) и проводить их профилактический ремонт с разными интервалами межремонтного периода

(0,5; 1,0; 1,5; 2,0 года). На основании полученных результатов можно в первом приближении определить продолжительность межремонтного периода, а затем в период эксплуатации эти интервалы уточнить.

При капитальном ремонте скважин на воду проводят буровые и сложные спускоподъемные операции, а также операции текущего ремонта.

Интервал между двумя капитальными ремонтами называется межремонтным циклом. Определить его более сложно, чем межремонтный периоды.

При наличии профилактических ремонтов межремонтный цикл будет зависеть в основном от времени коррозионного разрушения фильтра или сильного засорения его осадками. Это время можно установить только опытным путем.

Гораздо труднее установить межремонтный цикл скважины, ремонт которых обуславливается повреждением сальника и других конструктивных элементов скважины.

При отсутствии профилактических ремонтов продолжительность межремонтных циклов в основном определяется аварийными ситуациями, предугадать которые невозможно.

Заметим, что капитальный ремонт скважин отмечается многообразием технологических операций, поэтому ремонтная установка должна быть универсальной.

При капитальном ремонте выполняются следующие операции:

- монтаж и демонтаж устьевого и подземного насосного оборудования;
- очистка скважины от песка и посторонних предметов, а фильтра и прифильтровой зоны от продуктов зарастания;
- замена фильтров;
- ремонт и замена обсадных труб;
- проведение повторного разбуривания пласта перед установкой нового фильтра, ловильных работ, строительных и опытных откаток и т. д.

Ремонтная установка должна обеспечивать проведение работ на скважинах, устье которых расположено как внутри типовых подземных и наземных насосных станций, так и на открытых площадках. При использовании же буровых агрегатов можно выполнять

лишь некоторые ремонтные операции и совершенно исключена возможность капитального ремонта скважины, расположенной внутри наземной насосной станции.

Для выполнения всего комплекса операций по капитальному ремонту скважин агрегат необходимо оснастить следующими механизмами и оборудованием:

- мачтой вертикально-наклонного типа (обладающей максимально возможными подъемными нагрузками);
- съемными и выносными роторами;
- компрессором для откачки;
- сварочным агрегатом;
- двухбарабанной лебедкой с талевым и желоночным барабанами;
- приспособлениями для механизации трудоемких процессов.

С помощью вертикально-наклонной мачты и лебедки можно: монтировать и демонтировать насосно-силовое оборудование; поднимать и спускать фильтры и обсадные колонны, ремонтный инструмент и оборудование; выполнять ловильные работы; обследовать скважину; очистить обсадные трубы, фильтры и прифилтрованную зону от осадков и т. д.

При этом съемный и выносной роторы необходимы для буровых и ловильных работ, как на открытой площадке, так и внутри наземной насосной станции.

Компрессор применяется для откачки скважины, очистки от песка, установки нового фильтра в песчаный пласт, формирования приемной воронки при переходе с фильтровой на бесфильтровую конструкцию скважины.

Сварочный аппарат позволяет оперативно ремонтировать и изготавливать различные инструменты и приспособления, сваривать насосно-компрессорные трубы, проводить комплекс вспомогательных операций.

#### **4.1. Сроки службы и долговечность ГТС**

Срок службы отдельных элементов гидромелиоративных систем (каналы, трубопроводы, ГТС, облицовки и покрытия) – это календарная продолжительность их эксплуатации до наступления



предельного состояния, при котором их дальнейшая эксплуатация должна быть прекращена из-за потери установленных пределов прочности, устойчивости и невозможности обеспечить безаварийную работу гидромелиоративной системы (ГМС) или если система перестала отвечать современным требованиям из-за морального износа.

Свойство элементов сохранять работоспособность до наступления предельного состояния и обеспечивать безаварийную работу и дальнейшую эксплуатацию при установленной системе ремонта и содержания называется их долговечностью.

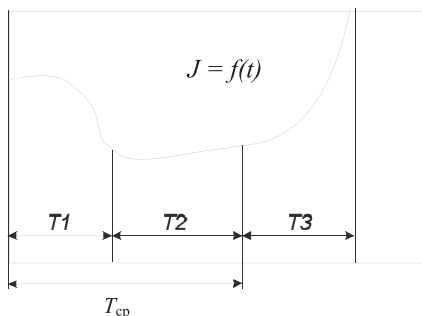
В процессе эксплуатации элементов ГМС можно выделить три периода (рисунок 4.1):

1)  $T_1$  – начальный период приработочных отказов (разрушений) и выявления скрытых дефектов производства работ;

2)  $T_2$  – период нормального функционирования, при котором постепенно накапливаются незначительные разрушения и усталостные напряжения, существенно не влияющие на эксплуатационные свойства элементов; ( $T_1 = T_2$  – момент начала интенсивного разрушения);

3)  $T_3$  – период, при котором происходит разрушение элементов системы в результате старения, износа и накопления усталостных напряжений, угрожающее авариями и выводом из эксплуатации ГМС.

При этом под воздействием внутренних и внешних факторов (природные, эксплуатационные, гидродинамические и др.) изменяются эксплуатационные, механические, физические, химические и прочие свойства элементов систем: они изнашиваются, стареют, ветшают.



**Рисунок 4.1. – Динамика разрушения элементов ГМС**

При этом их долговечность можно повысить увеличением прочности, уменьшением воздействия нагрузки и скорости старения.

Прочность (или сопротивляемость различным нагрузкам) можно увеличить совершенствованием технологии приготовления материалов, проведением профилактических ремонтных работ для восстановления начальной прочности, изменением влияния среды, применением защитных мероприятий.

Воздействие нагрузок на элемент системы, связанных с выполнением им определенных функций, можно уменьшить изменением его рабочих характеристик. Исключением являются нагрузки, обусловленные внешней средой (сильные ветры, землетрясения, снегопады, солевые потоки, наводнения и др.), которые нельзя уменьшить. В этих случаях конструкция элемента должна учитывать возможность воздействия этих нагрузок.

Установлено, что скорость старения элементов систем можно уменьшить управлением физико-химическими процессами в материалах:

- выбором материалов с учетом среды, в которой им придется работать;
- уменьшением энергии, участвующей в процессе старения;
- устройством изоляции, облицовки, штукатурки и других преград с учетом их качества;
- ремонтом элементов.

При этом главные мероприятия, обуславливающие долговечность отдельных элементов мелиоративных систем:

- рациональный выбор конструкции и стойких к нагрузкам и воздействиям материалов с назначением меры их защиты;
- высокое качество производства работ;
- соблюдение проектного режима эксплуатации и проведение ремонтов в установленные сроки;
- исключением недопустимых нагрузок и агрессивного воздействия среды;
- защита элементов от стихийного воздействия.

Средние сроки службы и долговечность ГТС устанавливаются по нормативным документам, исходя из их назначения, вида материалов и других факторов, на основе средних статистических данных о фактической периодичности их ремонтов. Профилактические и текущие ремонты увеличивают долговечность сооружений.

Для установления оптимальных сроков ремонта необходимо иметь объективные данные изменения степени физического износа элементов во времени и критерии оценки их эксплуатационного состояния, позволяющие определить их предельное состояние и начало капитального ремонта.

На основании этого должны составляться дифференциальные нормативы сроков службы сооружения.

#### **4.1.1. Виды ремонтов и состав ремонтно-строительных работ**

Ремонтные работы подразделяют на 2 вида:

- текущий ремонт (ТР);
- капитальный ремонт (КР).

Особый вид представляет ремонт, проводимый после стихийных бедствий или аварий. Аварийные работы относят к восстановительному ремонту.

Текущий и капитальный ремонты – планово-предупредительные (ППР) – проводят в определенном порядке. Аварийные работы выполняют внепланово и, как правило, круглосуточно с принятием всех необходимых мер по быстрой ликвидации аварий.

Разновидность ТР – профилактический ремонт, выполняемый при систематическом повседневном техническом уходе за мелиоративной сетью и сооружениями на ней.

Порядок подготовки планово-предупредительных ремонтов, выполняемых на ГМС и отдельных сооружениях, и показан на рисунке 4.2.

Если нет надлежащего технического обслуживания, то приходится чаще проводить текущий и капитальный ремонты. При регулярном техническом обслуживании и проведении текущих ремонтов сроки капитального ремонта обычно отодвигаются. Решения о проведении КР принимают комиссии, проводящие осенний технический осмотр системы, ее элементов и сооружений.

При ремонте мелиоративной сети и сооружений выполняют следующие работы:

- земляные (выемка, насыпь);
- бетонные;
- железобетонные;
- монтажные;
- каменные;
- дренажные;
- специальные.

Фактические объемы (по данным Южгипроводхоза) земляных работ при ремонте ГТС на оросительных системах, например, Ростовской области в среднем составляют  $10,9 \text{ м}^3$  на одно сооружение, а бетонных –  $2,8 \text{ м}^3$  на одно сооружение.

#### **4.1.2. Организация ремонта на ГМС**

Эффективность использования орошаемых и осушаемых земель, техническое состояние ГМС, срок службы ГТС в значительной степени зависят от своевременного выполнения ремонтно-строительных работ в необходимом объеме и высокого качества.

Об улучшении качественных показателей, достижении конечных результатов при наименьших затратах на каждом участке производства, о необходимости более тесной увязки решения задач укрепления экономики с улучшением условий труда и быта людей ставятся задачи во всех отраслях народного хозяйства, в т. ч. и в области с.-х. производства, т. е. на объектах АПК.

На ГМС ремонтные работы выполняют хозяйственным и подрядным (по договорам) способами. При этом хозяйственным спосо-

бом проводят работы структурные подразделения и управления эксплуатации совхозов, АО и др. хозяйств.

При подрядном способе ремонтные работы осуществляют специализированные организации:

- ремонтно-строительные объединения;
- тресты;
- передвижные механизированные колонны (ПМК);
- строительно-монтажные управления (СМУ);
- специализированные ПМК.

Например, в районное агропромышленное объединение (РА-ПО) входят ремонтно-строительные ПМК, обслуживающие ГМС и хозяйства одного района. Капитальный и текущий ремонты выполняют хозрасчетные специализированные ремонтно-строительные ПМК по договорам с межрайонными управлениями осушительных и оросительных систем, совхозами, различными АО.

Разработку проектно-сметной документации на проведение ремонтов выполняет проектная группа, созданная в каждом областном производственном управлении мелиорации водного хозяйства.

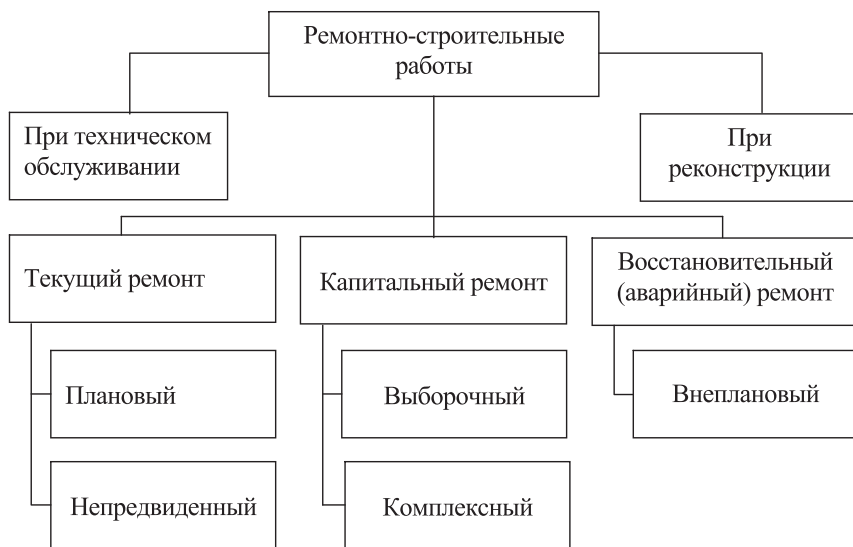
Кроме ухода за сетью и ремонта систем служба эксплуатации выполняет работы (на договорной основе) по улучшению мелиоративного состояния осушенных и орошаемых земель:

- эксплуатационную планировку;
- глубокое рыхление тяжелых почв;
- кротование и др.



**Рисунок 4.2 – Порядок подготовки планово-предупредительных ремонтов**

Все эксплуатационные работы и мероприятия на ГМС взаимосвязаны (рисунок 4.3)



**Рисунок 4.3. – Ремонтно-строительные работы, выполняемые на ГМС и сооружениях**

## **4.2. Ремонт ГТС мелиоративной сети**

При разработке технологии и организации ремонтно-строительных работ учитывают материал, из которого выполнено сооружение, его конструкцию и тип (сборная, сборно-монолитная или монолитная, открытого или закрытого типа).

Квалификация ГТС гидромелиоративной сети (ГМС) по их конструкции и назначению представлена на рисунок 4.2.1.

Гидропроект совместно с ведущими зональными проектно-исследовательскими институтами провел унификацию и создал единый комплекс типовых проектов ГТС и сборных железобетонных конструкций.

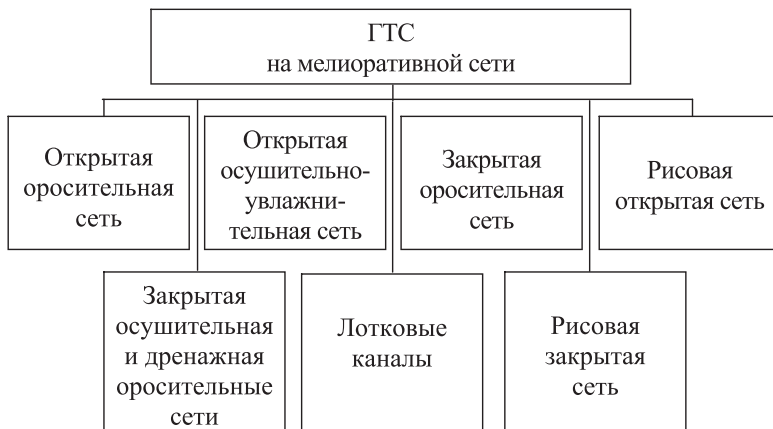
Этот комплекс содержит единые для всей страны сборные экономичные конструкции, обеспечивающие индустриальное строительство всех элементов ГМС.

Всего в типовых проектах разработано около 120 типов сооружений и 100 типов строительных конструкций.

Технологическая схема демонтажа ГТС сборной конструкции при капитальном ремонте или его реконструкции приведена в таблице 4.3.

При ремонте конструкций ГТС выполняют следующие основные виды ремонтных работ:

- заделку поверхностных и сквозных трещин, раковин, выбоин, отколов углов и граней блоков, ремонт бетонной поверхности при ее шелушении;
- ремонт швов и гидроизоляции;
- демонтаж и монтаж отдельных блоков ГТС;
- замену отдельных плит крепления в верхнем и нижнем бьефах;
- выправление или усиление положения отдельных конструктивных блоков и плит крепления;
- ремонт подъездных путей и служебных мостиков;
- ремонт гидромеханического оборудования;
- заделка промоин и воронок размыва, очистку верхнего и нижнего бьефа от наносов и зарастания растительностью;
- устранение фильтрации вдоль ГТС;
- благоустройство прилегающей к ГТС территории.



**Рисунок 4.2.1 – Классификация ГТС на мелиоративной сети**



Технологическая схема монтажа ГТС из унифицированных деталей приведена в таблице 4.2.

При ремонте асфальтобетонных облицовок и покрытий встречаются следующие виды ремонтных работ:

- устранение трещин, просадок, выбоин, шелушения, исправление основания, уплотнение покрытия;
- ремонт мест сопряжения облицовок и покрытий с ГТС.

При ремонте асфальтобетонных облицовок и покрытий встречаются следующие виды ремонтных работ:

**Таблица 4.2.1 – Технологическая схема монтажа ГТС из унифицированных деталей**

Состав строительно-монтажных операций	Средства выполнения
Разбивка и закрепление осей сооружения на местности	Нивелир или теодолит, колья, мерные ленты, рейки, вешки
Устройство котлована	Экскаваторы с рабочим оборудованием драглайн или обратная лопата
Устройство подготовки	Автокраны, бабды, лопаты, трамбовки, бетонная смесь, щебень, гравийно-песчаная смесь, вибраторы
Монтаж сооружения из сборных блоков с заделкой стыков	Автокраны, бетономешалки или растворомешалки, заливщики швов, цементный раствор, герметизирующие материалы, сварочные агрегаты, монтажные приспособления
Гидроизоляция подземной части ГТС	Битумные котлы, ведра, кисти, гидроизоляционные материалы, топливо
Обратная засыпка пазухов ГТС, устройство насыпи переезда, приканальных дамб	Бульдозеров, краны с подвесными трамбовками или пневмотрамбовки, вода для доувлажнения грунтов
Крепление дна и откосов канала в верхнем и нижнем бьефах, устройство упорного зуба из камня	Автокраны, материалы для заделки швов и обратных фильтров, камень, бабды, лопаты
Монтаж металлических конструкций и их защита от коррозии	Автокраны, сварочные агрегаты, лакокрасочные материалы, краскораспылители, кисти

- поверхностный разлив органического вяжущего и россыпь каменной мелочи (высевки) на покрытия и облицовки из органических вяжущих материалов.

**Таблица 4.2.2 – Технологическая схема демонтажа ГТС  
сборной конструкции при капитальном ремонте или его конструкции**

Состав строительно-монтажных операций	Состав выполнения
Демонтаж металлических конструкций	Автокраны, гайковерты, сварочные агрегаты, автотранспорт
Разработка креплений откосов канала в верхнем и нижнем бьефах с демонтажем стыковых соединений	Автокраны, захватные устройства, механизированный инструмент для разрушения бетона, резки арматуры, автотранспорт
Разработка креплений дна канала в верхнем и нижнем бьефах с демонтажем стыковых соединений	То же
Разработка грунта в насыпи переезда, в пазухах ГТС, приканальных дамбах	Бульдозеры, экскаваторы с рабочим оборудованием, обратная лопата или драглайн, лопаты
Демонтаж стыковых соединений и блоков сооружения	Автокраны, захватные устройства, механизированный инструмент для разрушения бетона, резки арматуры, автотранспорт

Разрушение отдельных конструктивных блоков и всего ГТС, как правило, имеет место в случаях, когда прочность материала сооружения не отвечает действующим нагрузкам, его конструкция недостаточно устойчива к эксплуатационным и климатическим воздействиям, нарушены правила технической эксплуатации ГТС.

Существенную роль в образовании дефектов играют воздействие на ГТС природных факторов, силовых нагрузок, особенности воздействия и эксплуатации ГТС сборной и монолитной конструкции.

### **4.3. Методика и алгоритм расчета систем массового обслуживания применительно к объектам АПК**

Как известно, многие объекты народного хозяйства, в том числе и с.-х., назначения, исследуются с помощью системного анализа и математической статистики.

Однако, если говорить о решении сложных экологических проблем, то в этом случае приходится прибегать и к теории случайных функций и многим разделам теории вероятностей, в том числе,

к теории массового обслуживания. Это объясняется тем, что указанные объекты подвержены воздействию множества случайных факторов и внешних воздействий природного и техногенного характера.

По нашему мнению, имея в своем распоряжении математический аппарат, позволяющий исследовать системы массового обслуживания (СМО), можно решить многие технико-экономические и эколого-технические задачи с.-х. производства.

Рассмотрим смешанную СМО с одним ( $n = 1$ ) исполнительным механизмом (ИМ) и очередью; в системе одновременно может находиться не более, чем  $m$  требований; очередь упорядоченная.

Обозначим через  $x(t)$  количество требований, находящихся в системе в момент  $t$ .

При этом функция  $x(t)$  принимает  $(m + 1)$  значение:

- 1)  $x_0$  – в системе нет требований;
- 2)  $x_1$  – в системе одно требование;
- 3) ...,  $x_m$  – в системе  $m$  требований.

Функция  $x(t)$  – Марковская случайная функция. В силу свойства показательного закона, вероятность того, что следующее требование поступит в момент  $t + \tau_1$  и вероятность того, что обслуживание требования, которое находится в ИМ, окончится в момент  $t + \tau_2$ , не зависит от течения рассматриваемого процесса массового обслуживания до момента  $t$ .

Следовательно, прогноз дальнейшего поведения функции  $x(t)$  при условии, что известно ее состояние в момент  $t$ , нельзя улучшить дополнительными сведениями о ее прошлом, то есть  $x(t)$  – Марковская случайная функция.

Далее определяем вектор вероятностей  $p(t) = [p_0(t), p_1(t), \dots, p_m(t)]$  состояний СМО для любого момента времени  $t$ .

В этом случае  $p_q(t)$  – вероятность того, что функция  $X(t)$  в момент  $t$  принимает значение  $x_q$ ;  $q = 0, 1, \dots, m$ . Заменим непрерывное время  $t$  прерывным, меняющимся скачкообразно через интервал  $\Delta t$  и сведем  $X(t)$  к простой цепи Маркова.

Теперь составим матрицу вероятностей перехода  $p_{qq'}(t, t + \Delta t)$  из состояния  $x_q$  (в момент  $t$ ) в состоянии  $x_{q'}$  (в момент  $t + \Delta t$ ) при условии, что  $\Delta t$  мало.

При этом в интервале  $(t, t + \Delta t)$  происходят следующие переходы:

$$x_0 \rightarrow x_0, x_0 \rightarrow x_1;$$

$$x_q \rightarrow x_{q-1}, x_q \rightarrow x_q, x_q \rightarrow x_{q+1} \quad (4.3.1.)$$

при  $(m > q > 0)$ ;

$$x_m \rightarrow x_{m-1}, x_m \rightarrow x_m.$$

Затем определяем вероятности следующих событий:

- за интервал  $(t, t + \Delta t)$  в систему не поступит ни одного требования;

- за интервал  $(t, t + \Delta t)$  ИМ не закончит обслуживания.

Тогда вероятность первого события будет:

$$\begin{aligned} p_0(\Delta t) &= \frac{e^{-\lambda \Delta t} (\lambda \Delta t)^0}{0!} = e^{-\lambda \Delta t} = \\ &= 1 - \lambda \Delta t + \frac{1}{2!} (e^{-\lambda \Delta t})^2 - \frac{1}{3!} (e^{-\lambda \Delta t})^3 + \dots \\ &\dots + (-1)^m \frac{1}{m!} (e^{-\lambda \Delta t})^m + \dots \approx 1 - \lambda \Delta t \end{aligned} \quad (4.3.2.)$$

Принимаем  $e^{-x} = 1 - x + o(x)$  при условии, что  $o(x)$  есть бесконечно малая величина более высокого порядка, чем  $x$ .

В этом случае, вероятность второго события будет:

$$\begin{aligned} P(T_{\text{обсл}} > \Delta t) &= 1 - F(\Delta t) = \\ &= e^{-\mu \Delta t} \approx 1 - \mu \Delta t \end{aligned} \quad (4.3.3.)$$

Тогда вероятность поступления в СМО ровно одного требования за интервал  $(t, t + \Delta t)$  и вероятность того, что за интервал  $(t, t + \Delta t)$  ИМ обслужит ровно одно требование соответственно равны:

$$\begin{aligned} 1 - (1 - \lambda \Delta t) &= \lambda \Delta t; \\ 1 - (1 - \mu \Delta t) &= \mu \Delta t. \end{aligned} \quad (4.3.4.)$$

Определим вероятность  $p_{qq}(t, t + \Delta t)$ , где  $m > q > 0$ . Так, если в момент  $t$  в СМО находилось  $q$  требований, то событие при котором в момент  $t + \Delta t$  в СМО по-прежнему будет находиться  $q$  требований, можно рассматривать как сумму двух несовместимых событий:

- события  $A$  – за интервал  $(t, t + \Delta t)$  ни одно требование не поступило в систему и ни одно требование не было обслужено,  $P(A) \approx (1 - \lambda \Delta t) \times (1 - \mu \Delta t)$ ;

• события В – за интервал  $(t + \Delta t)$  в СМО поступило ровно одно требование и за это же время ИМ закончил обслуживание одного требования и оно покинуло систему,  $P(B) \approx \lambda\Delta t \times \mu\Delta t$ .

Таким образом, получим:

$$P_{qq}(t, t + \Delta t) \approx (1 - \lambda\Delta t) \cdot (1 - \mu\Delta t) + \mu\Delta t\lambda\Delta t = 1 - \lambda\Delta t - \mu\Delta t + 2\lambda\mu(\Delta t)^2 \approx 1 - \lambda\Delta t - \mu\Delta t \quad (4.3.5)$$

Здесь  $2\lambda\mu(\Delta t)^2$  является бесконечно малой величиной более высокого порядка, чем  $\Delta t$ .

Аналогичным образом можно определить и другие вероятности перехода  $p_{qq'}(t, t + \Delta t)$ .

**Таблица 4.3.1.**

№ п/п	Изменение состояния	Вероятность перехода
1.	$x_0 \rightarrow x_0$	$1 - \lambda\Delta t$
2.	$x_0 \rightarrow x_1$	$\lambda\Delta t$
3.	$x_q \rightarrow x_{q-1}, m > q > 0$	$(1 - \lambda\Delta t)\mu\Delta t \approx \mu\Delta t$
4.	$x_q \rightarrow x_q, m > q > 0$	$(1 - \lambda\Delta t)(1 - \mu\Delta t) + \lambda\Delta t \cdot \mu\Delta t = \approx 1 - \lambda\Delta t - \mu\Delta t = 1 - (\lambda + \mu)\Delta t$
5.	$x_q \rightarrow x_{q+1}$	$\lambda\Delta t(1 - \mu\Delta t) \approx \lambda\Delta t$
6.	$x_m \rightarrow x_{m-1}$	$\mu\Delta t$
7.	$x_m \rightarrow x_m$	$1 - \mu\Delta t$

При этом матрица перехода  $\Gamma(\Delta t)$  будет иметь следующий вид:

$$F(\Delta t) = \begin{vmatrix} P_{00}, & P_{01}, & P_{02}, & P_{03}, & \dots & P_{0(m-2)}, & P_{0(m-1)}, & P_{0m} \\ P_{10}, & P_{11}, & P_{12}, & P_{13}, & \dots & P_{1(m-2)}, & P_{1(m-1)}, & P_{1m} \\ P_{20}, & P_{21}, & P_{22}, & P_{23}, & \dots & P_{2(m-2)}, & P_{2(m-1)}, & P_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{(m-1)0}, & P_{(m-1)1}, & P_{(m-1)2}, & P_{(m-1)3}, & \dots & P_{(m-1)(m-2)}, & P_{(m-1)(m-1)}, & P_{(m-1)m} \\ P_{m0}, & P_{m1}, & P_{m2}, & P_{m3}, & \dots & P_{m(m-2)}, & P_{m(m-1)}, & P_{mm} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 - \lambda\Delta t, & \lambda\Delta t, & 0, & 0, & \dots & 0, & 0, & 0 \\ \mu\Delta t, & 1 - (\mu + \lambda)\Delta t, & \lambda\Delta t, & 0, & \dots & 0, & 0, & 0 \\ 0, & \mu\Delta t, & 1 - (\mu + \lambda)\Delta t, & \lambda\Delta t, & \dots & 0, & 0, & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0, & 0, & 0, & 0, & \dots & \mu\Delta t, & 1 - (\mu + \lambda)\Delta t, & \lambda\Delta t \\ 0, & 0, & 0, & 0, & \dots & 0, & \mu\Delta t, & 1 - \mu\Delta t \end{vmatrix} \quad (4.3.6)$$

Тогда после некоторых преобразований получим:

$$p(t + \Delta t) = p(t)\Gamma(\Delta t), \quad (4.3.7.)$$

после чего имеем систему  $(m+1)$  уравнений:

$$\begin{cases} p_0(t + \Delta t) = p_0(t)(1 - \lambda\Delta t) + p_1(t)\mu\Delta t; \\ p_q(t + \Delta t) = p_{q-1}(t)\lambda\Delta t + p_q(t)[1 - (\lambda + \mu)\Delta t] + p_{q+1}(t)\mu\Delta t; \\ m > q > 0; \\ p_m(t + \Delta t) = p_{m-1}(t)\lambda\Delta t + p_m(t)[1 - \mu\Delta t]. \end{cases} \quad (4.3.8.)$$

Другой вариант этой системы будет:

$$\begin{cases} [p_0(t + \Delta t) - p_0(t)] / \Delta t = -\lambda p_0(t) + \mu p_1(t); \\ [p_q(t + \Delta t) - p_q(t)] / \Delta t = \lambda p_{q-1}(t) - (\lambda + \mu)p_q(t) + \mu p_{q+1}(t); \\ m > q > 0; \\ [p_m(t + \Delta t) - p_m(t)] / \Delta t = \lambda p_{m-1}(t) - \lambda p_m(t). \end{cases} \quad (4.3.9.)$$

После перехода к пределу при  $\Delta t \rightarrow 0$  получим систему дифференциальных уравнений относительно неизвестных функций  $p_0(t)$ ,  $p_1(t), \dots, p_m(t)$ :

$$\begin{cases} \frac{dp_0(t)}{dt} = -\lambda p_0(t) + \mu p_1(t); \\ \frac{dp_q(t)}{dt} = \lambda p_{q-1}(t) - (\lambda + \mu)p_q(t) + \mu p_{q+1}(t); \\ n > q > 0; \\ \frac{dp_m(t)}{dt} = \lambda p_{m-1}(t) - \lambda p_m(t). \end{cases} \quad (4.3.10)$$

Интегрируем систему (4.3.10.) при начальных условиях:

$p_0(0) = 1$ ,  $p_1(0) = p_2(0) = \dots p_m(0) = 0$ , т. е. в начальный момент времени в СМО отсутствуют требования, после чего находим  $p_q(t)$ , где  $q = 0, 1, \dots, m$ .

Далее расчет основных параметров и вероятностных характеристик СМО производится с помощью исследования законов распределения поступления и обслуживания требований в систему и использования математического аппарата теории вероятностей и математической статистики.

Вышеописанная методика и алгоритм расчета СМО, по нашему мнению, могут быть эффективно использованы в практике исследования сложных систем народного хозяйства и с.-х. производства, т. к. происходящие в них процессы носят преимущественно стохастический характер.

## **5. ПУТИ МЕХАНИЗАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ НА ОБЪЕКТАХ АПК**

Механизация и автоматизация технологических процессов в условиях рыночной экономики является обязательным условием и характерно чертой научно-технологического процесса. При этом повышаются производительность, качество и безопасность труда.

Однако на пути автоматизации промышленного и с.-х. производства имеются значительные трудности.

Например, применяемое в настоящее время сложное гидромеханическое оборудование сборных сооружений ГЭС в большинстве случаев проектируются и эксплуатируется без достаточного учета современных требований автоматизации, связано с большими эксплуатационными и хозяйственными затратами, не обеспечивает необходимой точности, быстродействия и надежности работы.

В этой связи, автоматическая работа, воздействующих затрат и гидравлических распределительных устройств, приобретает особое значение в следующих условиях:

- необходимость поддерживать постоянный подпорный горизонт независимо от естественных колебаний расходов реки и потребления воды из водохранилища;
- быстро поступающие паводки и ледоходы должны сбрасываться без угрозы затопления вышележащих земель, промышленных предприятий, населенных пунктов и без причинения вреда ГТС;
- необходимость пропускать определенный расход воды в нижней бьеф;



• плотина не должна располагаться вблизи от ГЭС или населенного пункта, когда затруднен повседневный надзор за сооружением.

При том автоматизация гидромеханического оборудования сбросных сооружений проще всего решается с помощью использования вододействующих затворов и распределительных гидравлических устройств, которые получают в мировой практике все большее распространение.

Автоматические затворы ГТС весьма разнообразны, но до настоящего времени нет их установившейся классификации.

На наш взгляд, основными классификационными признаками затрат можно считать: конструкцию, принцип маневрирования и местоположения.



**Рисунок 5.1 – Классификация автоматических вододействующих затворов**

Кроме того, имеются вододействующие затворы, из гибких синтетических материалов, маневрируемые накачиванием или сливом воды на замкнутой плоскости. Такие затворы, как правило, применяются при небольших напорах и не подлежат автоматизации.

На рисунке 5.2 представлены некоторые виды гидравлических распределительных устройств, применяемые в гидромелиорации.

Как видно из рисунка 5.2, к первой группе относятся поворотные (шаговые) устройства, предназначенные для последовательного или избирательного распределения жидкой среды по различным независим объектам. Эти устройства, в свою очередь делятся на распределители без обратного слива и распределители, обеспечивающие одновременно с подачей среды к одному из объектов потребления сбросов отобранной среды из остальных объектов.



**Рисунок 5.2. – Классификация гидравлических распределительных устройств**

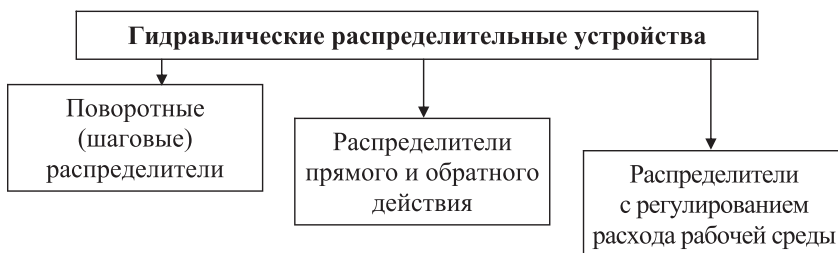


**Рисунок 5.3 – Классификация автоматических вододействующих затворов**

Ко второй группе относятся распределители прямого и обратного действия (реверсивные), обеспечивающие изменение направление потока рабочей среды.

И, наконец, в третью группу входят устройства, обеспечивающие наряду с распределителем разлирование расхода жидкости.

В заключение отметим, что быстрый рост числа патентов на гидравлические распределители в России, США, Великобритании, ФРГ, Японии и Франции обоснованы по основным показателям в сравнении с электромагнитными клапанами, которые широко используются в качестве исполнительных элементов в различных гидросистемах промышленности и сельского хозяйства.



**Рисунок 5.4 – Классификация гидравлических распределительных устройств**

### **5.1. Исследование основных параметров и вероятностных характеристик СМО, работающих в условиях воздействия на них техногенных нагрузок**

Во многих задачах в практике промышленного и с.-х. производства, наибольший интерес представляют вероятностные характеристики СМО, проработавший достаточно длительное время, например, а различных климатических условиях или подвергавшейся разным техногенным нагрузкам.

В этом случае можно показать, что функция  $x(t)$  обладает свойством эргодичности.

Следовательно, справедливо равенство, которое для случая непрерывного времени  $t$  имеет вид:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} p(t) = (p_0, p_1, \dots, p_m). \quad (5.1.1)$$



Учитывая (5.1.6), из второго уравнения имеем:

$$p_2 = \frac{1}{\mu}[-\lambda p_0 + (\lambda + \mu)p_1] = \frac{1}{\mu}(-\lambda p_0 + \frac{\lambda^2}{\mu} p_0 + \lambda p_0) = \frac{\lambda^2}{\mu^2} p_0 \quad (5.1.7)$$

По аналогии, из третьего уравнения с учетом (5.1.6) и (5.1.7), получим:

$$p_3 = \frac{1}{\mu}[-\lambda p_1 + (\lambda + \mu)p_2] = \frac{1}{\mu} \left( -\frac{\lambda^2}{\mu} p_0 + \frac{\lambda^3}{\mu^2} p_0 + \frac{\lambda^2}{\mu} p_0 \right) = \frac{\lambda^3}{\mu^3} p_0 \quad (5.1.8)$$

Обобщая вышеуказанное, имеем для любого  $m \geq q > 0$ :

$$p_q = \frac{\lambda^q}{\mu^q} p_0 = \varphi^q p_0 \quad (5.1.9)$$

Подставляя равенство (6.1.9) в последнее уравнение системы (5.1.5), получим:

$$\sum_{q=0}^m p_q = p_0 \sum_{q=0}^m \varphi^q = p_0(1 + \varphi + \varphi^2 + \dots + \varphi^m) = p_0 \frac{\varphi^{m+1} - 1}{\varphi - 1} = 1 \quad (5.1.10)$$

Затем находим:

$$p_0 = \frac{\varphi - 1}{\varphi^{m+1} - 1} \quad (5.1.11)$$

После подстановки выражения (6.1.11) в формулу (6.1.19) получим:

$$p_q = \varphi^q \frac{\varphi - 1}{\varphi^{m+1} - 1} \quad (5.1.12)$$

Теперь можно определить основные вероятностные характеристики рассматриваемой СМО:

1) Математической ожидание (МО) числа требований в системе:

$$\begin{aligned} M(q) &= \sum_{q=0}^m q p_q = \frac{\varphi - 1}{\varphi^{m+1} - 1} \sum_{q=0}^m q \varphi^q = \frac{\varphi - 1}{\varphi^{m+1} - 1} (\varphi(1 + 2\varphi + 3\varphi^2 + \dots \\ &\dots + n\varphi^{m-1})) = \varphi \frac{\varphi - 1}{\varphi^{m+1} - 1} (\varphi + \varphi^2 + \dots + \varphi^m)' = \varphi \frac{\varphi - 1}{\varphi^{m+1} - 1} \left[ \frac{\varphi(\varphi^m - 1)}{\varphi - 1} \right]' = (5.1.13) \\ &= \varphi \frac{\varphi - 1}{\varphi^{m+1} - 1} \times \frac{\varphi^m (m\varphi - m - 1) + 1}{(\varphi - 1)^2} = \frac{\varphi^{m+1} (n\varphi - n - 1) + \varphi}{(\varphi^{m+1} - 1)(\varphi - 1)}. \end{aligned}$$

В формуле (5.1.13) производная  $(\varphi + \varphi^2 + \dots \varphi^m)'$  – это производная функции  $(\varphi + \varphi^2 + \dots \varphi^m)$  по  $\varphi$ .

2) МО числа требований в узле обслуживания:

$$M(j) = p_1 + \sum_{q=2}^m p_q = 1 - p_0 \quad (5.1.14)$$

3) МО числа требований в накопителе:

$$\begin{aligned} M(v) = M(q) - M(j) &= \frac{\varphi^{m+1}(m\varphi - m - 1) + \varphi}{(\varphi^{m+1} - 1)(\varphi - 1)} + \frac{\varphi - 1}{\varphi^{m+1} - 1} = \\ &= \frac{\varphi^{m+1}(m\varphi - m - 1) + \varphi^2}{(\varphi^{m+1} - 1)(\varphi - 1)}. \end{aligned} \quad (5.1.15)$$

4) МО числа свободных исполнительных механизмов (ИМ):

$$M(p) = 1 - M(j) = 1 - (1 - p_0) = p_0. \quad (5.1.16)$$

5) Вероятность того, что требование получит отказ:

$$P_{\text{отк}} = P_m = \varphi^m \frac{\varphi - 1}{\varphi^{m+1} - 1}. \quad (5.1.17)$$

## **5.2. Экологическая оптимизация промышленного природопользования**

Основополагающим условием безопасного и устойчивого развития промышленности и с.-х. производства является экологическая оптимизация промышленности на основе экологических законов и принципов.

Основными из них являются:

- закон соответствия между уровнем развития производственных сил и природно-ресурсным потенциалом;
- закон интегрального ресурса (характеризует негативные последствия конкурирующего использования природных ресурсов разными отраслями хозяйства, например, водного источника – промышленными объектами, с.-х. предприятиями, транспортом, водопроводом города т. п.);
- принципы удаленности событий при использовании природных ресурсов (показывает, что явления, отдаленные во времени и в пространстве, кажутся менее существенными, например, недооценка негативных отходов АЭС в начале их создания);

- экологическая оптимизация промышленного природопользования (это комплекс научно-технических и экономических мероприятий, направленных на устойчивое, безопасное и ресурсосберегающее развитие промышленности, удовлетворяющее естественным потребностям человеческого общества).

К этим мероприятиям можно отнести:

- совершенствование существующих и разработку новых технологий безотходных и малоотходных производств с замкнутым циклом водопотребления;
- дальнейшее развитие экологической техники для снижения загрязнения окружающей среды выбросами, сбросами и отходами;
- преимущественную переработку природных органических энергоносителей в электроэнергию в местах их добычи;
- расширение практического применения технологий подземной газификации углей;
- повышение безопасности действующих АЭС и вывод из работы устаревших реакторов;
- создание нового поколения энергетических ядерных реакторов с высокой надежностью в эксплуатации и технологически исключающий загрязнения ОПС.

## **6. МЕТОДИКА АГРЕГАТИРОВАНИЯ КАНАЛООЧИСТИТЕЛЯ ПОПЕРЕЧНОГО КОПАНИЯ С ТРАКТОРОМ ДТ-175С**

В комплексе мероприятий, направленных на повышение продуктивности мелиорированных земель все более важное место занимают эксплуатация и ремонт оросительных и осушительных систем, так как от состояния последних, в конечном счете, зависит урожайность сельскохозяйственных культур.

Для поддержания мелиоративных систем в исправном и работоспособном состоянии необходимо регулярное проведение комплекса ремонтно-эксплуатационных работ, включающих уход и надзор, текущий и капитальный ремонты.

Уход и надзор заключается в осуществлении профилактических мероприятий и устранении небольших повреждений и неисправностей.

Текущий ремонт выполняется на мелиоративных системах, работоспособность которых снижена на более чем на 20 %. Этот ремонт проводится чаще выборочно, а наиболее трудоемкие операции по очистке каналов от наносов и растительности зачастую не выполняются. Как установлено исследованиями, приведенными объемы очистительных работ составляют 44,45...73,44 м<sup>3</sup>/га.

При капитальном ремонте производятся значительные объемы работ по восстановлению различных элементов мелиоративных систем. В этом случае земляные работы имеют большой удельный вес. Регулярное и качественное проведение всех разнообразных видов эксплуатационно-ремонтных работ требует наличия высокоэффек-



тивного оборудования, позволяющего быстро и в нужные сроки осуществлять все необходимые технологические операции.

Одним из перспективных направлений развития средств механизации ремонтно-эксплуатационных работ на мелиоративных системах является создание мобильных машин со шлейфом сменного рабочего оборудования для окашивания и очистки от наносов каналов, промывки дренажа и ремонта гидротехнических сооружений.

Применяемые для создания таких машин базовые тракторы типа ДТ-75 и МТЗ-82 не в полной мере отвечают предъявляемым требованиям, к которым относятся: повышенная универсальность, большой диапазон функциональных качеств гидропривода, возможность агрегатирования с большим количеством рабочего оборудования и выполнение нескольких операций за один проход, легкость управления, лучшие условия труда машиниста, невысокие значения удельного давления на почву и др.

Кроме того, следует подчеркнуть, что производительность и качество работ на базе упомянутых выше тракторов уже не всегда соответствует растущим требованиям.

Увеличивающийся дефицит рабочей силы еще больше обостряет положение. Повышение рабочей скорости при выполнении окашивания или выемки наносов зачастую ограничено, что требует применения широкозахватных рабочих органов, совмещения технологических операций и др.

В настоящее время более высоким техническим, экологическим, экономическим требованиям к тракторам, как к базовым машинам для агрегатирования с мелиоративным оборудованием, в наиболее полной мере отвечают трактор Липецкого тракторного завода ЛТЗ-155 и трактор Волгоградского тракторного завода ДТ-175С.

Наличие двух систем навески (задней и передней), нескольких валов отбора мощности, широкого диапазона рабочих и транспортных скоростей вперед и назад с удобной системой управления, привода на все колеса и их управление, их унифицированность, низкое давление на грунт позволит расширить возможности и применить усовершенствованные и новые рабочие органы для мелиоративных машин.

Исследованиями, приведенными установлено, что определяющее влияние на процесс уплотнения почв и глубину колеи оказы-

ваает кратность проходов мелиоративных машин по своему следу. В этой связи представляется целесообразным исследовать технические, экологические и экономические возможности агрегатирования тракторов ДТ-175С, ЛТЗ-155 и др. с орудиями мелиоративного назначения с целью разработки новой экологичной технологии очистки каналов. Ниже приведены исследования по наиболее значимым техническим условиям агрегатирования тракторов новых моделей с рабочими органами гидромелиоративного назначения.

### **6.1. Исследование баланса мощности и тяговых характеристик трактора ДТ-175С при агрегатировании с рабочими органами мелиоративного назначения**

Для машин с навесными рабочими органами суммарная мощность на привод может быть выражена формулой:

$$N = N_{\text{ро}} + N_{\text{пер}} + N_{\text{д}} + N_{\text{о}}, \quad (6.1.1.)$$

где  $N_{\text{ро}}$  – мощность на привод рабочего органа;  $N_{\text{пер}}$  – мощность на перемещение машины;  $N_{\text{д}}$  – мощность на привод дополнительных устройств;  $N_{\text{о}}$  – мощность, затрачиваемая на срезание и перемещение грунта отвалом бункера.

Мощность на привод рабочего органа:

$$N_{\text{р.о.}} = N_{\text{р}} \eta_{\text{транс}}^{-1} + N_{\text{нас}} \eta_{\text{нас}}^{-1}, \quad (6.1.2.)$$

где  $N_{\text{р}}$  – мощность необходимая для разрыхления грунта;  $\eta_{\text{транс}}$  – к.п.д. трансмиссии;  $N_{\text{нас}}$  – мощность, расходуемая на привод земляного насоса;  $\eta_{\text{нас}}$  – к.п.д. насоса

Объем грунта срезаемый за один оборот фрезы равен:

$$W = \frac{\alpha_{\text{к}} F \pi D_{\text{тм}}}{360}, \quad (6.1.3.)$$

где  $\alpha_{\text{к}}$  – угол контакта фрезы;  $D_{\text{ф}}$  – диаметр фрезы

При  $\alpha_{\text{к}} = 150^\circ$  формула может быть приведена к виду

$$W = \frac{150 F \pi D_{\text{тм}}}{360} = 1,3 F D_{\text{тм}}.$$

При числе оборотов  $n$  и количестве ножей  $Z$

$$W = 1,3 \cdot F \cdot D_{\text{ф}} \cdot Z \cdot n \cdot 60, \text{ м}^3/\text{мин}$$

При  $Z = 6$ ,  $D_{\phi} = 0,5$  м,  $n = 100$  мин<sup>-1</sup>.

$$W = 1,3 \cdot F \cdot D_{\phi} \cdot Z \cdot n \cdot 60 = 23\,400 \cdot F, \text{ м}^3/\text{ч}$$

Часовая производительность

$$W = 1,3 \cdot F \cdot D_{\phi} \cdot Z \cdot n \cdot 3600 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Площадь срезаемой стружки в плоскости перпендикулярной направлению движения:

$$F = \delta \cdot h_p, \quad (6.1.4)$$

где  $\delta$  – толщина срезаемой стружки;  $h_p$  – глубина фрезерования.

Сопrotивление резанию грунта ножами определяют из выражения:

$$P = K \cdot 0,5 \cdot Z \cdot F \cdot (1 + f_2) \cdot \sin \alpha \cdot \sin \gamma + G \cdot f, \quad (6.1.5)$$

где  $K$  – сопротивление резанию;  $K = 3000$  Н/м<sup>2</sup> – сопротивление резанию плотного грунта;  $K = 1000$  Н/м<sup>2</sup> – сопротивление резанию рыхлого грунта;  $f = 0,7$  – коэффициент трения;  $\alpha = 25^\circ$  – угол резания;  $\gamma = 80^\circ$  – угол наклона ножа;

$F = 0,014$  м<sup>2</sup> – площадь срезаемой стружки.

$$P = 207,3 + 0,7 \cdot G.$$

Крутящий момент на валу разрыхлителя:

$$M_{\text{кр}} = \frac{PD_{\text{тм}}}{2}. \quad (6.1.6)$$

Мощность необходимая на привод разрыхлителя:

$$N_p = \frac{M_{\text{кр}} \pi n}{60}. \quad (6.1.7)$$

В данной конструкции принят землесос 63Н конструкции ВНИИГиМ со скоростью вращения 1500 мин<sup>-1</sup>.

При производительности 90 л/с

$$N_{\text{нас}} = 23,5 \text{ кВт.}$$

Определяем мощность на привод рабочего органа

$$N_{\text{ро}} = 33,6 \text{ кВт.}$$

Определяем мощность на передвижение машины в рабочем положении:

$$N_{\text{нпр}} = \frac{FV_{\text{р}}}{10^3 \eta_{\text{х}}}, \quad (6.1.8.)$$

где  $\eta$  – к.п.д. механизма ходовой части;  $F$  – суммарное тяговое сопротивление;  $V_{\text{р}}$  – рабочая скорость машины

$$F = F_{\text{т}} + F_{\text{ро}} + F_{\text{от}}, \quad (6.1.9.)$$

где  $F_{\text{т}}$  – сопротивление перемещению базовой машины;  $F_{\text{ро}}$  – сопротивление перемещению рабочего органа;  $F_{\text{от}}$  – сопротивление перемещению отвала бульдозера

$$F_{\text{т}} = (G_{\text{т}} + G_{\text{но}})(f_{\text{н}} + i) + R_{\text{ро}} f_{\text{н}}, \quad (6.1.10.)$$

где  $G_{\text{т}}$  – тяговая масса трактора;  $G_{\text{но}}$  – масса навесного оборудования;  $f_{\text{н}}$  – коэффициент сопротивления движению базовой машины;  $i$  – тангенс угла уклона поверхности грунта;  $R_{\text{ро}}$  – перпендикулярная к поверхности перемещения нагрузка от рабочего органа, приходящаяся на базовую машину.

Вращающий момент от сил резания грунта

$$T = \frac{0,5 N_{\text{р}} D_{\text{гм}}}{V_{\text{окр}} 10^3}, \quad (6.1.11.)$$

где  $V_{\text{окр}}$  – окружная скорость рыхлителя.

$$V_{\text{окр}} = \frac{n D_{\text{ср}} \pi}{60} = 2,4 \text{ м/с}. \quad (6.1.12.)$$

Находим сопротивление перемещению рабочего органа:

$$F_{\text{ро}} = \sum R_{\text{к}} \cos \alpha_{\text{гм}} = 0,76 \text{ кН}.$$

Определяем мощность на привод дополнительных механизмов

$$N_{\text{д}} = (0,005 \div 0,007)(N_{\text{ро}} + N_{\text{нпр}}) = 2,2 \text{ кВт}. \quad (6.1.13.)$$

Суммарная мощность на привод

$$N = 41,5 \text{ кВт}. \quad (6.1.14.)$$

Мощность двигателя базовой машины проверяем по формуле

$$k_{\text{дв}} = N_{\text{дв}} / N = 125,1 / 41,5 = 3,0. \quad (6.1.15.)$$

Возможность передвижения базовой машины в рабочем положении проверяем по условию сцепления с грунтом и крюковому усилию

$$F_{\text{кр}} \geq (F_{\text{т}} - F_{\text{ро}}) \leq G_{\text{цп}}(k_{\text{сцп}} f_{\text{т}} - i). \quad (6.1.16.)$$

где  $G_{\text{сц}}$  – сцепной вес машины;  $k_{\text{сц}}$  – коэффициент сцепления машины с грунтом;  $f_{\text{сц}}$  – коэффициент сопротивления передвижению.

В результате расчета получены данные, которые свидетельствуют о возможности передвижения машины в рабочем положении.

Таким образом, исследование технических возможностей агрегатирования трактора ДТ-175С при очистке дна канала и планировке берм за один проход подтверждает гипотезу о достаточных мощностных и тягово-сцепных возможностях трактора для применения его в качестве базового шасси мелиоративной машины.

## **6.2. Статический расчет трактора ДТ-175С при агрегатировании с рабочими органами мелиоративных машин**

При статическом расчете трактора удельные давления на грунт и условия устойчивости машины определяют для указанных ниже расчетных положений.

В вертикальной, продольной и поперечной плоскостях в рабочем положении и при очистке каналов заданных параметров и планировке берм при максимальном вылете рабочего органа и расчетной толщине стружки.

Момент подъема рабочего органа при максимальном его вылете при переходе из рабочего положения в транспортное.

Транспортное – при продольном и поперечном уклонах с учетом сил инерции при трогании с места, повороте и ветре, действующим под углом, определяют предельный и критический углы поперечного и продольного уклонов.

Определение координат центра давления. Для этого определяем вертикальную и горизонтальную составляющие усилия копания:

$$\sum R_{\text{в}} = \sum R_{\text{н}} \sin \alpha_1 - \sum R \cos \alpha_1 = 0,85 \text{ кН.} \quad (6.2.1.)$$

Суммы моментов силы тяжести относительно осей:

$$\begin{aligned} \sum M_y = 0,1G_{\text{ред}} + G_{\text{с}} + (0,68 + 2,5) + G_{\text{р}}(0,66 + 2,5 + 3) - \\ \sum R_{\text{о}}(0,66 + 2,5 + 2,8 + 0,3) - 0,4G_{\text{н}} + 0,1G_{\text{т}} = 8,17 \text{ кН}\cdot\text{м} \end{aligned} \quad (6.2.2.)$$

Определяем координаты центра давления

$$X_0 = M_y(87 - 0,85)^{-1} = 0,095 \text{ м} \quad (6.2.3.)$$

$$Y_0 = M_x(G_{\text{общ}} - \sum R_B)^{-1} = 0,19 \text{ м}$$

Определяем реакцию грунта на наиболее нагруженную гусеницу:

$$R_r = (G_{\text{общ}} - \sum R_B)(0,5b_6 + X_{дb})^{-1} = 24,65 \text{ кН}, \quad (6.2.4.)$$

Определяем среднее, максимальное и минимальное давление для наиболее нагруженной гусеницы:

$$P_{\text{max}} = P_{\text{cp}}(1 + 1,6y_{дl_6}^{-1}) = 51,6 \text{ кПа}; \quad (6.2.5.)$$

$$P_{\text{min}} = P_{\text{cp}}(1 - 1,6y_{дl_6}^{-1}) = 8,33 \text{ кПа}; \quad (6.2.6.)$$

$$P_{\text{cp}} = P_r(l_r + l_6)^{-1} = 30,3 \text{ кПа}. \quad (6.2.7.)$$

Проходимость машины на минеральных грунтах будет обеспечена при условии

$$\frac{Y_{д}}{l_6} \leq 0,2, \quad (6.2.8.)$$

где  $Y_{д}$  – смещение центра давления относительно середины опорной поверхности;  $l_6 = 1,746 \text{ м}$  – длина опорной поверхности гусеницы

Следовательно проходимость на минеральных грунтах обеспечена.

Проходимость на осушенных торфяниках обеспечена при

$$\frac{P_{\text{max}}}{P_{-p}} \leq 1,6 \div 1,8. \quad (6.2.9.)$$

Следовательно возможно прохождение машины по осушенным торфяникам. По неосушенным торфяникам машина не пройдет.

Проверка устойчивости машины в момент подъема рабочего органа при максимальном его вылете.

Устанавливающий момент:

$$M_{\text{уст}} = 1,66G_r + 1,06G_n + 1,66G_{\text{сред}} = 58,3 \text{ кН}\cdot\text{м} \quad (6.2.10.)$$

Опрокидывающий момент:

$$M_{\text{опр}} = (1,8 \cdot 2,55 + 4,8 \cdot 5,35) \cdot 1,2 = 33,6 \text{ кН}\cdot\text{м} \quad (6.2.11.)$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий наличие в стреле пульпы и налипшей грязи в рыхлителе.

Коэффициент устойчивости:

$$K_y^r = \frac{M_{уд}^r}{M_{пов}^r} > [K_y^r], \quad (6.2.12.)$$

Машина в таком положении устойчива и опрокидываться не будет.

Для сравнения рассчитаем коэффициенты устойчивости машины в горизонтальной плоскости для разных тракторов. Расчеты сведены в таблицу 6.2.1.

Результаты расчетов показали, что предельный угол  $\beta = 17^\circ$ , т.е. значения предельного угла устойчивости вполне допустимы, что свидетельствует о возможности использования трактора ДТ-175С в качестве базового шасси мелиоративных машин.

Критический угол для каналоочистителя в транспортном положении имеет значение  $23^\circ$ . Поэтому при превышении этого значения машина будет опрокидываться.

Таким образом, исследование устойчивости трактора ДТ-175С при агрегатировании с рабочими органами позволило подтвердить возможность его использования в качестве базового шасси мелиоративных машин.

**Таблица 6. 2.1. – Коэффициент устойчивости различных тракторов**

Базовый трактор	Масса машины, кг	Длина опорной поверхности, м	Поворачивающий момент, кНм	Коэффициент устойчивости
ДГ-75МР	7950	1,216	5,7	3,3
	8850		17,1	1,2
ДТ-175С	9000	1,746	5,7	5,4
	9900		17,1	2,2
ДТ-75Б	8450	2,365	5,7	6,8
	9350		17,1	14,2
Т-100МЗБ	14 887	2,78	5,7	5
	15 787		17,1	6,5
Т-130БГ-1	17 080	3,188	5,7	18,8
	17 980		17,1	17,9

### 6.3. Исследование влияния сопротивления рабочего органа на прямолинейность хода трактора ДТ-175С с рабочими органами мелиоративных машин

При использовании трактора ДТ-175С в качестве базового шасси мелиоративных машин возможно применение рабочих органов с нецентральной навеской, стремящейся нарушить устойчивое движение агрегата, ухудшить управляемость и снизить его тяговые свойства. Способность машины сохранять заданное направление движения является важным показателем при выполнении любых мелиоративных работ и, в частности, каналоочистительных.

Установлено, что на устойчивость прямолинейного хода гусеничного трактора влияют как внутренние, так и внешние факторы.

К внутренним факторам относятся, например, пробуксовка одного из бортовых фрикционов, неодинаковое натяжение гусеничных лент, различный износ шарниров гусеничных лент и другие.

К внешним факторам относятся такие, как состояние поверхности грунта, неодинаковость сцепления гусениц с грунтом, действие реакции со стороны грунта на рабочий орган и другие факторы. В полевых условиях любая из приведенных выше сил может меняться в значительных пределах и соответственно оказывать влияние на прямолинейность движения трактора.

Условием устойчивости прямолинейного движения трактора на холостом ходу является соблюдение равенства:

$$P_{k1} - P_{f1} = P_{k2} - P_{f2}, \quad (6.3.1.)$$

где  $P_{k1}$  и  $P_{k2}$  – касательная сила тяги соответственно правой и левой гусениц;  $P_{f1}$  и  $P_{f2}$  – сила сопротивления передвиганию соответственно правой и левой гусениц

Гусеничный трактор сохраняет заданное направление движения до тех пор, пока на него не будет действовать момент, величина которого превосходит результирующий момент сопротивления повороту.

В процессе работы возникает сила сопротивления передвиганию рабочего органа. Эта сила создает поворачивающий момент относительно центра опорной поверхности.

В этом случае условие устойчивости движения может быть выражено следующим образом:



$$(P_{k1} - P_{f1} + P_{k2} - P_{f2}) \frac{b}{2} - \sum R_r l + M_{уд}^c = 0. \quad (6.3.2.)$$

Если сопротивление передвижению и сцепление гусениц с грунтом одинаковы, то условие устойчивости прямолинейного движения выразится

$$R_r \cdot l < M_{уд}^r. \quad (6.2.3)$$

Из этого выражения следует, что прямолинейность движения сохраняется, если поворачивающий момент от всех сил не превышает момента от сил трения опорной поверхности с грунтом, т. е. имеет коэффициент запаса устойчивости:

$$K_y^r = \frac{M_{уд}^r}{M_{пов}^r} > [K_y^r], \quad (6.2.4.)$$

где  $K_y^r = 2...3$  – допустимый коэффициент запаса устойчивости.

Если условие устойчивости нарушается, то нарушается равновесие системы, движение становится неустойчивым, что вынуждает часто пользоваться рычагами управления для выравнивания хода. Частое изменение направления движения ограничивает скорость движения, ухудшает качество работы, увеличивает износ бортовых передач, утомляет водителя.

Практикой установлено, что каналоочистительные машины, базирующиеся на болотоходных тракторах, не обладают достаточной устойчивостью движения, что является одним из недостатков.

Изменение направления движения осуществляется отключением одного из бортовых фрикционов и торможением гусеницы. Поэтому действие поворачивающего момента можно компенсировать отключением бортового фрикциона гусеницы, т. е. созданием уравновешивающего момента.

Если условие устойчивости выполнено, то при использовании трактора ДТ-175С при очистке дна и планировке берм за один проход, машина будет двигаться прямолинейно.

Таким образом, приведенные в качестве примера исследования некоторых возможностей агрегатирования трактора ДТ-175С с рабочими органами гидромелиоративного назначения показало возможность его использования в качестве базового шасси мелиоративных машин.

Исследование технических условий агрегатирования трактора ДТ-175С с орудиями гидромелиоративного назначения, в объеме, необходимом для разработки технического задания на проектирование новой мелиоративной машины, было выполнено автором по существующим методикам.

#### **6.4. Исследование экономической эффективности использования трактора ДТ-175С в качестве базового шасси мелиоративных машин**

Разработка новой техники ремонтно-эксплуатационных работ включает исследование ее экономической эффективности. При этом рассматривается возможность агрегатирования трактора ДТ-175С с орудиями гидромелиоративного назначения: каналоочистителем и отвалом для планировки берм. Экономический расчет произведен в новых экономических условиях. Для определения экономической эффективности внедрения проектируемая машина сравнивалась с производственным каналоочистителем МР-14 и плужным каналокопателем МК-17. Затем произведен учет экономической эффективности инвестиционного проекта гидромелиоративной организации и представлена таблица потока реальных денег.

1. Определение экономической эффективности от агрегатирования трактора ДТ-175С с каналоочистительным оборудованием МР-14.

Для определения экономического эффекта от применения новой техники необходимы следующие технические данные:

##### **Технические данные базовой машины:**

Параметры каналов:

глубина	до 1,9 м
ширина по дну	0,6 м
толщина очищаемых наносов	до 0,2 м
Производительность	до 7 м <sup>3</sup> /ч
Масса машины	11 470 кг
Мощность двигателя	59 кВт

## Технические данные мелиоративной машины на базе трактора ДТ-175С:

Параметры каналов:	
глубина до	до 1,9 м
ширина по дну	0,8 м
толщина очищаемых наносов	до 0,4 м
Производительность	до 14,0 м <sup>3</sup> /ч
Масса машины	9000 кг
Мощность двигателя	125 кВт

### Определение капитальных вложений

Совокупность затрат, направляемых на создание, расширение и обновление основных фондов, носит название капитальных вложений.

Расчетная цена машины равна общей сумме затрат на создание и освоение производства машины нового типа с учетом транспортных входов, связанных с первоначальной доставкой. Капиталовложения на приобретение техники включают затраты, необходимые для доставки, хранения и расконсервации машины.

Расчетно-балансовая стоимость определяется по формуле:

$$K = (C_{\text{м}} + C_{\text{об}})k_{\text{в}}, \quad (6.4.1)$$

где  $C_{\text{об}}$  – оптово-розничная цена оборудования;  $k_{\text{в}}$  – коэффициент перехода от оптовой цены к расчетно-балансовой стоимости с учетом доставки

### Определение эксплуатационной производительности

$$P_{\text{см}} = P_{\text{т}} t_{\text{см}} k_{\text{в}} k_{\text{э}}, \quad (6.4.2)$$

где  $k_{\text{в}} = 0,6$  – коэффициент перехода от технической к эксплуатационной производительности;  $k_{\text{э}} = 0,75$  – коэффициент перехода от эксплуатационной к дневной производительности

$$P_{\text{см}} = 14,0 \cdot 8,2 \cdot 0,6 \cdot 0,75 = 50,4 \text{ м}^3/\text{смена}.$$

### Определение удельных капитальных вложений

Удельные капитальные вложения на единицу продукции или выполненных работ определяются по расчетно-балансовой стоимости машины и ее годовой производительности при использовании для очистки дна канала и планировки берм.

$$K_y = \frac{k \cdot Z_{\text{см.г.оп.}}}{Z_{\text{см.}} n Z}, \quad (6.4.3)$$

где  $Z_{\text{см.г.оп.}}$  – число смен работы машины на отдельных операциях.

На основании статистических данных можно заключить:

$$Z_{\text{см.г.оп.}} = T_{\text{ч}}/t_{\text{см}} = 1550/8,2 = 189 \text{ смен},$$

где  $k$  – расчетно-балансовая стоимость машины;  $K_{\text{цп}} = 437,9$  руб./м<sup>3</sup> в год;  
 $K_{\text{бв}} = 919,2$  руб./м<sup>3</sup> в год.

### **Определение себестоимости машино-часа**

Себестоимость машино-часа определяется специальной сметой расходов, с учетом отдельных видов работ, нормативов затрат применительно к средним, наиболее характерным условиям использования вновь внедряемой машины.

При вычислении себестоимости машино-часа учитываются единовременные годовые и текущие эксплуатационные расходы.

Единовременные затраты, выполняемые до начала эксплуатации машины на объекте, включают затраты на доставку, демонтаж машины и другие подготовительные работы. В годовые затраты включены амортизационные отчисления за год на полное восстановление и капитальный ремонт машины. Текущие эксплуатационные расходы складываются из заработной платы обслуживающего персонала, стоимости топлива, смазочных и обтирочных материалов, затраты на все виды ремонтов машины кроме капитального, стоимости износа и ремонта сменной оснастки:

$$C = C_{\text{ед}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{обс}} + C_{\text{эн}} + C_{\text{то}} + C_{\text{ом}}. \quad (6.4.4)$$

Часовые единовременные затраты

$$C_{\text{ед}} = C_{\text{тр}} + C_{\text{дм}}. \quad (6.4.5)$$

Так как машина при перебазировке с объекта на объект перемещается своим ходом, а также не требует демонтажа и монтажа, то соответствующие затраты не учитываются.

Часовые затраты на амортизационные отчисления, приходящиеся на 1 машино-час:

$$C = A/T_{\text{уд}}, \quad (6.4.6)$$

где  $A$  – амортизационные отчисления на полное восстановление

$$A = K \cdot a / 100, \quad (6.4.7.)$$

где  $a = 24,4\%$  – норма амортизационных отчислений;  $A_k = 9,4$  млн руб.;  
 $A_n = 10,9$  млн руб.;  $C_6 = 6462$  руб./м ч;  $C_n = 7494$  руб./м ч.

Часовые затраты на обслуживающий персонал

$$C_{\text{абс}} = 3_{\text{тц}} \cdot 1,25, \quad (6.4.8.)$$

где  $3_q$  – часовая тарифная ставка в соответствии с единой тарифной сеткой.

Заработная плата машиниста по 3 разряду составляет:

$$3_{\text{м.ч.}} = 2032 \text{ руб./ч};$$

$$C^{\text{общ}} = 2857 \text{ руб./м.}$$

Часовые энергетические затраты

$$C_{\text{эн}} = (Q_T \cdot \Pi_T + C_{\text{всп}}) \cdot 1,1, \quad (6.4.9.)$$

где  $Q_T$  – массовый расход дизельного топлива.

$$Q_T = N_{\text{дв}} \cdot k_{\text{дв}} [Q_{\text{мх}}(Q_{\text{тн}} \cdot Q_{\text{мх}}) \cdot k_{\text{дм}}], \quad (6.4.10.)$$

где  $N_{\text{дв}}$  – мощность двигателя;  $K_{\text{дв}} = 0,7$  – коэффициент использования двигателя во времени;  $Q_{\text{мх}}$  – удельный расход топлива в час на 1 кВт номинальной мощности при холостой работе двигателя;  $Q_{\text{тн}}$  – удельный массовый расход топлива в час на 1 кВт номинальной мощности при нормальной нагрузке;  $Q_{\text{тнб}} = 0,285$  кг/кВт·ч;  $Q_{\text{тнн}} = 0,245$  кг/кВт·ч;  $\Pi_T = 396$  руб./кг дизельного топлива;  $C_{\text{топ}} = Q_T \cdot \Pi_T$  – часовые затраты на топливо;  $C_{\text{топб}} = 3107$  руб./м.ч;  $C_{\text{топн}} = 5623$  руб./м.ч;  $C_{\text{всп}} = C_{\text{топ}} P / 100$  – стоимость вспомогательных, смазочных и обтирочных материалов;  $P = 15\%$  – доля затрат на вспомогательные, смазочные и обтирочные материалы.

Часовые затраты на текущий ремонт и техническое обслуживание вычисляем по формуле:

$$C_{\text{то}} = 3_{\text{рч}} = C_{\text{рм}},$$

где  $3_{\text{рч}}$  – зарплата ремонтных рабочих, приходящаяся на 1 машино-час.

Определяем себестоимость машино-часа с учетом накладных расходов (8 %):

$$C_{\text{бн}} = 18\,681 \text{ руб./м.ч.}$$

$$C_{\text{нч}} = 23\,231 \text{ руб./м.ч.}$$

Определение себестоимости продукции:

$$C_y = C_q / \Pi_q, \quad (6.4.11.)$$

где  $C_q$  – себестоимость машино-часа;  $\Pi_q$  – часовая производительность.

Годовой экономический эффект от внедрения новой технологии ремонтно-эксплуатационных работ:

$$\mathcal{E}_T = [(C_{y6} - C_{yM}) + E_n(K_{y6} - K_{yM})] \Pi_{огль} \quad (6.4.12.)$$

где  $E_n = 0,14$  – нормативный коэффициент сравнительной эффективности.

Таким образом, на основании результатов исследования и расчетов, можно заключить, что использование трактора ДТ-175С в качестве базового шасси мелиоративных машин экономически целесообразно.

Для всесторонней активной оценки экономической эффективности новой технологии ремонтно-эксплуатационных работ при использовании трактора ДТ-175С в качестве базового шасси мелиоративных машин проведем ее оценку по методике оценки экономической эффективности в рыночных условиях, разработанной А. Г. Шахназаровым.

В ее основе заложено определение соотношения стоимости машины и ее производительности, а также сальдо реальных денег. При оценке эффективности использования трактора ДТ-175С в качестве базового шасси мелиоративной машины соизмерение равновременных показателей осуществляется путем приведения (дисконтирования) их к стоимости в начальном периоде (на первом шаге). Для приведения разновременных затрат, результатов и эффектов использования норма дисконта ( $E$ ) равная требуемой для инвестора норме дохода на капитал.

Оценку экономической эффективности рекомендуется проводить с использованием различных рекомендуемых показателей, к которым относятся:

- чистый дисконтированный доход (ЧДД) или интегральный эффект;

- индекс доходности (прибыльности);
- внутренняя норма доходности (ВНД).

1. Чистый дисконтированный доход (интегральный эффект) определяется как сумма текущих эффектов за весь расчетный период, приведенная к начальному шагу, или как превышение интегральных результатов над интегральными затратами за вычетом капитальных вложений.

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T (R_t - Z_t) \frac{1}{(1+E)^t} - K_0, \quad (6.4.13.)$$

2. Индекс доходности (прибыльности)  $P$  представляет собой отношение суммы приведенных эффектов к величине капиталовложений

$$P_1 = \frac{1}{K_0} \sum_{t=0}^T (R_t - Z_t) \frac{1}{(1+E)^t} - K_0. \quad (6.4.14.)$$

Индекс доходности тесно связан с ЧДД. Он строится из тех же элементов и его значение связано со значением ЧДД. Если ЧДД положителен, то  $P_1 = 1$  и наоборот. Если  $P_1 > 1$ , проект эффективен, если  $P_1 < 1$  – неэффективен.

3. Внутренняя норма доходности (ВДД) представляет собой ту норму дисконта ( $E_{\text{вн}}$ ), при которой величина приведенных эффектов равна приведенным капиталовложениям. Иными словами  $E_{\text{вн}}$  (ВНД) является решением уравнения

$$\sum_{t=0}^T \frac{R_t - Z_t}{(1 + E_{\text{вн}})^t} = \sum_{t=0}^T \frac{K_t}{(1 + E_{\text{вн}})^t}. \quad (6.4.15.)$$

Если расчет ЧДД проекта дает ответ на вопрос, является он эффективным или нет при заданной норме дисконта ( $E$ ), то ВДН проекта определяется в процессе расчета, а затем сравнивается с требуемой инвестором нормой дохода на вкладываемый капитал. В качестве примера в таблице 4.2 показан поток реальных денег в АО «Калугамелиорация».

Для примера расчета примем норму дисконта  $E = 100\%$  ( $E = 1$ ). Формулу чистого дисконтированного дохода запишем в виде:

$$\text{ЧДД} = S - K_0. \quad (6.4.16.)$$

Слагаемые в первой сумме представляют собой значения дисконтированного эффекта, в который из состава затрат исключены капиталовложения, слагаемые второй суммы – дисконтированные капиталовложения, взятые с обратным знаком. Расчеты дают следующий результат:

$$S = 1\,814\,304 \text{ тыс. руб.}; \text{ ЧДД} = 1\,749\,319 \text{ тыс. руб.}$$

$$\text{Индекс прибыльности: } P_k = 27,9.$$

**Таблица 6.4.1. – Поток реальных денег АО «Калугамелинорация»  
при использовании новой технологии ремонтно-эксплуатационных работ (по ценам 2003 года)**

Показатель	Значение показателей по кварталам, тыс. руб.							
	первонач	1	2	3	4	5	6	
Оперативная деятельность	15 453	217 319	53 440	160 544	3 625 362	10 531 353	3 122 076	97 748 060
Продажи и др. поступления	147,8	1 182 067	3 948 560	7 680 135	14 005 670	24 375 050	52 082 337	96 544 050
Материалы и зап. части	0	455 507	1 183 748	187 796	2 853 598	3 078 957	4 780 242	6 210 230
Прочие прямые издержки	0	3 387 847	948 505	1 410 771	1 898 547	2 503 449	3 405 717	4 130 578
Общие издержки и налоги	330,6	378 511	1 485 257	2 677 185	5 500 717	10 177 113	19 633 005	25 034 776
Проценты по кредитам	15 270	19 973	140 015	9751	4568	5468	8948	9780
Инвестиционная деятельность	198 438	9692	0	463 273	0	0	173 335	0
Поступления от продажи активов	0	9692	0	463 273	0	50 823	11 895	18 433
Затраты на приобретение активов	197 332	0	0	0	0	0	0	0
Финансовая деятельность	536 083	-27 027	-236 487	-445 946	864 865	105 433	227 561	444 333
Собственный капитал	418 919	0	0	0	0	0	0	0
Краткосрочные кредиты	0	250 666	0	0	0	0	0	0
Долгосрочные кредиты	135 135	0	0	0	0	0	0	0
Погашение задолженностей по кредитам	18 018	39 027	39027	39 027	39 027	39 027	39 027	39 027
Выплаты дивидендов	0	0	209 459	410 819	837 838	105 777	112 884	150 443
Излишек средств	18 418	2 190 526	5 107 522	16 071 764	3 537 875	4 222 571	90 353 710	10 527 134
Суммарная потребность в средствах	0	0	0	0	0	0	0	0
Сальдо на начало года	0	184 183	652 763	3 101 189	1 917 294	2 888 534	4 781 222	8 771 334
Сальдо на конец года	184 183	652 763	3 101 189	1 917 294	2 888 534	4 781 222	8 771 334	25 272 881



Внутренняя норма доходности:  $VНД = 1,78$ .

Решение уравнения дает  $VНД = 178 \%$ .

**Вывод:** Анализ таблицы потока реальных денег свидетельствует о том, что сальдо реальных денег АО «Калугамелиорация» на каждом шагу положительно, что является основным условием осуществимости проекта.

Расчетные значения показателей эффективности инвестиционного проекта также свидетельствуют о выгодности проекта: и по чистому дисконтированному доходу, и по индексу прибыльности проект является прибыльным. Значение внутренней нормы доходности так же имеет достаточно высокое значение.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о достаточно высокой эффективности использования тракторов ДТ-175С с оборудованием мелиоративного назначения.

## **Выводы**

Исследованиями, проведенными в настоящей главе, установлено:

1. Базовые машины предшествующих мелиоративных машин на базе тракторов, а также их модификации устарели и имеют существенные недостатки. В связи с этим требуется принципиально новый, энергонасыщенный трактор с улучшенными характеристиками и техническими возможностями. Таким трактором является скоростной гусеничный трактор ДТ-175С.

Этот трактор имеет ряд преимуществ, что обеспечивает снижение утомляемости водителя, повышение производительности и значительное уменьшение стоимости работ.

2. Исследование мощностных характеристик трактора ДТ-175С позволяет установить, что при использовании каналоочистительного оборудования мощность двигателя обеспечивает очистку каналов глубиной до 2,1 м, с заложением откосов 1:1. Кроме того большая мощность двигателя, по сравнению с двигателем трактора ДТ-75 (СМД14Н) позволяет увеличить рабочую скорость каналоочистителя, а также очищать каналы с большей шириной канала по дну (до 1,0–1,2 м) и с большей толщиной наносов (до 0,4). Таким образом, расчеты показали, что можно ожидать увеличение производительности работ на 25...30 %.

3. При агрегатировании трактора ДТ-175С с каналочистителем и отвалом бульдозера, удельный расход топлива снижается с 0,260 кг/кВт·ч для трактора ДТ-75 (с двигателем СМД-14Н) до 0,240 кг/кВт·ч для трактора ДТ-175С-1х с двигателем СМД-66.

4. Расчеты на устойчивость в вертикальной плоскости позволили установить коэффициент запаса устойчивости равный 1,8 для каналочистителя (в рабочем положении), что позволяет использовать его с трактором ДТ-175С.

5. Исследование устойчивости прямолинейного движения в рабочем положении позволяет сделать вывод о реальной возможности агрегатирования каналочистительного оборудования с трактором ДТ-175С.

6. Исследование экономической эффективности позволяет заключить, что применение трактора ДТ-175С в качестве базового трактора имеет достаточно высокую экономическую эффективность.

## **7. РАЗРАБОТКА НЕТРАДИЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В РАМКАХ СИЭОП**

К настоящему времени современная наука не всегда в состоянии дать точную оценку глобального экологического ущерба от стереотипных методов хозяйствования.

При этом отсутствие объективных методов оценивания негативных экологических последствий породило прагматический стиль решения хозяйственных вопросов.

В связи с этим, на наш взгляд, необходимо форсировать консолидацию всех научных, инженерно-технических и производственных сил на единой методологической основе в направлении защиты природы и снижения экологического риска на планете.

Реализацией концепций инженерной экологии является система инженерно-экологического обеспечения производства (СИЭОП).

Эта система функционирует в развитии следующих подсистем:

- научно-методологического обеспечения;
- проектно-конструкторского обеспечения;
- технологического обеспечения;
- комплексного экологического контроля;
- организационно-методического обеспечения;
- информационного обеспечения;
- количественной оценки и прогнозирования;
- оптимального управления, и др.

Таким образом, взаимодействие указанных подсистем находят свое выражение в выработке комплексных решений в рамках СИЭОП.

В качестве примера можно рассмотреть пути решения такой актуальной на сегодняшний день задачи, как разработка нетрадиционных источников энергии (7.1–7.7).

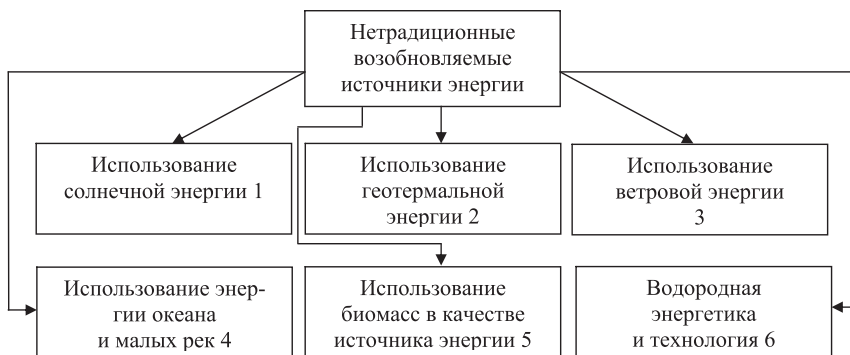
Анализ отечественного и зарубежного опыта технологического развития и, прежде всего, многолетняя изобретательская деятельность (направленная на поиск оптимальных решений в жизненно важных технологиях) позволили нам принципиально по-новому подойти к понятию «технологическое решение» – не как к локальному совершенствованию аналогов, а как к результату обобщения актуального состояния непрерывного технологического процесса в различных отраслях народного хозяйства.

Всестороннее рассмотрение процесса принятия технологического решения (как сочетания анализа, синтеза и оптимизации межотраслевых технологических достижений) обусловило необходимость решения ряда новых теоретических проблем.

При этом главными из них являются:

- обоснование структуры информационной модели инновационной технологии;
- определение принципов модульной структуризации;
- разработка методов выявления существующих параметров;
- создание методологического и технического обеспечения процессов получения решений авторами новых технологий (в том числе, учеными и изобретателями).

В виду того, что развитие науки информационных процессах происходит одновременно с коренным изменением технологии производства средств вычислительной техники, все более ускоренными темпами разрабатываются и новые технологии безотходного экологически чистого производства, а также новейшие инновационные технологии.



**Рисунок 7.1 – Способы применения различных видов энергии для создания нетрадиционных возобновляемых энергоисточников**



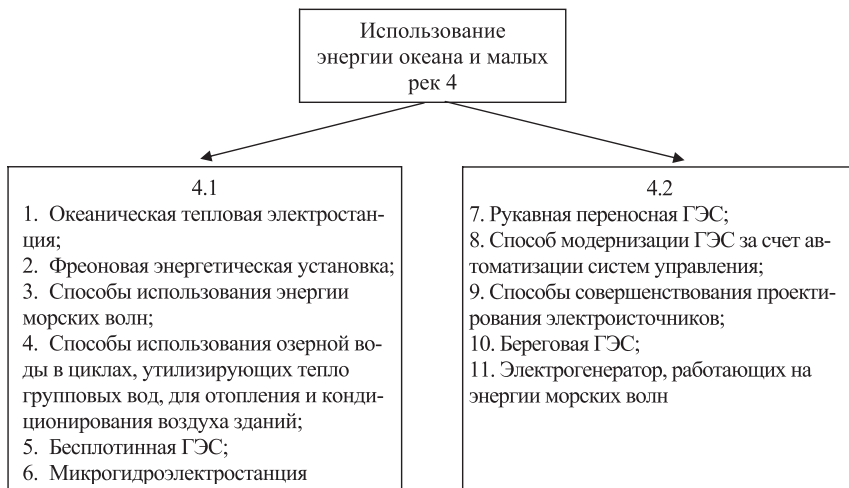
**Рисунок 7.2 –Использование солнечной энергии**



**Рисунок 7.3 – Использование геотермальной энергии**



**Рисунок 7.4 – Использование ветровой энергии**



**Рисунок 7.5 – Использование энергии океана и малых рек**





**Рисунок 7.6 – Использование биомассы в качестве источника энергии**



**Рисунок 7.7 – Водородная энергетика и технология**

## **8. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКА НА ОБЪЕКТАХ АПК**

Эффективное функционирование АПК – это целенаправленная совместная деятельность сельских товаропроизводителей, перерабатывающих предприятий, предприятий инженерно-технического обеспечения и с.-х. машиностроения по производству, переработке и реализации с.-х. продукции, продовольственных товаров и продукции производственно-технического назначения на взаимовыгодной основе.

Инженерное обеспечение сельских товаропроизводителей – это целенаправленная деятельность обслуживающих структур с целью получения сельскими товаропроизводителями наибольшего количества продукции требуемого качества с наименьшими издержками.

В условиях перехода к рыночным отношениям резко ухудшились показатели многих отраслей экономики страны, но особенно в сложном положении оказалось с.-х. производство.

За последние 10 лет валовая продукция АПК РФ уменьшилось почти в 2 раза, значительно снизилась среднегодовая урожайность зерновых культур – с 16 ц/га в 1986–1991 годах до 9,4 ц/га в 1999–2000 годах; более 30 млн га посевных площадей выбыло из севооборота.

Это связано, главным образом, со снижением уровня технической оснащенности сельских товаропроизводителей, который со-

ставляет 46...52 % от уровня 1991 года; количество тракторов сократилось с 1710 до 806 тыс. шт., комбайнов – с 860 до 410 тыс. шт.

Положение усугубляется и тем, что 90 % имеющейся в хозяйствах техники эксплуатируется по 12–15 и более лет. Ежегодно списывается 5...6 % имеющихся в АПК тракторов, комбайнов и сельхозмашин при нормативе списания 10...12 %. Ежегодный износ и списание основных фондов превышает их восстановление более чем в 10 раз.

Из-за недостатка техники хозяйства вынуждены сокращать посевные площади, выполнять полевые работы по упрощенным технологиям за пределами агротехнических сроков. Это ведет к уменьшению урожайности, увеличению потерь с.-х. продукции и снижению ее качества.

Так, например, в 2000 году посевная площадь зерновых культур составила 45,8 млн га, а в 2002 году – примерно на 700 тыс. га меньше.

Сокращение объемов с.-х. производства и урожайности культур, увеличение диспаритета цен на с.-х. и промышленную продукцию, привели к снижению эффективности с.-х. производства и ухудшению экономического состояния сельских товаропроизводителей – основных потребителей и услуг технологического и технического сервиса.

В результате машиностроение и ремонтно-обслуживающее производство имеют низкий спрос на сельхозтехнику и услуги технического сервиса.

### **8.1. Причины низкой эффективности использования машин в АПК**

Острая необходимость восстановления и укрепления производственно-технического потенциала АПК, отсутствие заметного повышения эффективности его использования диктуют необходимость выявления причин сложившейся ситуации с целью выработки конкретных мер по их устранению и деятельности, как сельских товаропроизводителей, так и машинно-технологических станций (МТС).

Причины низкой эффективности использования техники в АПК можно разделить на:

- технические;
- технологические;
- организационно-экономические, которые взаимосвязаны и взаимозависимы.

К техническим причинам следует отнести:

- низкий технический уровень и надежность с.-х.- машин;
- несовершенство системы машин и оборудования, применяемых для производства с.-х. продукции;
- высокую энергоемкость работ, выполняемых отечественными машинами;
- низкий уровень технической оснащенности предприятия АПК.

Технический уровень выпускаемых промышленностью машин характеризуется, прежде всего, производительностью, качеством и надежностью, которые определяются в условиях рыночных отношений их конкурентоспособность и спрос.

Чем выше надежность машин, тем меньше затраты на обеспечение работоспособности машинно-тракторного парка (МТП) и продолжительность пребывания машин в сфере технического сервиса. В результате – меньше требуется техники, механизаторов и ремонтно-обслуживающего персонала для выполнения работ, выше производительность труда.

Низкий технический уровень отечественных машин (в отличие от зарубежной техники) не способствует повышению сменной выработки агрегатов и производительности труда работников, занятых их эксплуатацией. Например, из-за низкой надежности наработка на отказ зерноуборочных и кормоуборочных комбайнов не превышает 6–8 ч. Почвообрабатывающие машины имеют в смену 2–3 отказа.

В условиях тяжелого финансово-экономического состояния сельских товаропроизводителей очень сложно обеспечить полноту, своевременность и качество технологических процессов производства с.-х. продукции, тем более по интенсивным технологиям.

Все большее применение находят энерго- и ресурсосберегающие технологии минимальной и нулевой обработки почвы. Но, несмотря на это, широкое их применение сдерживается отсутствием необходимой техники.

В настоящее время из-за катастрофической нехватки и высокой стоимости техники остро стоит вопрос об обоснованном увеличении агротехнических сроков проведения механизированных работ. Для этого применяются культуры и сорта с различными сроками созревания, посев зерновых на различную глубину при увеличении срока сева и др.

К организационно-экономическим причинам малоэффективного использования относятся:

- несовершенство форм и методов организации выполнения механизированных работ и услуг технического сервиса;
- отсутствие кооперации и специализации в использовании техники и ремонтно-обслуживающей базы;
- низкий уровень организации технического сервиса в АПК;
- недостаточная обоснованность производственных параметров и технической оснащённости структур технического сервиса, их ремонтно-технической базы;
- несовершенство экономического механизма, регулирующего взаимоотношения в системе технического сервиса АПК.

В сложившихся неблагоприятных экономических условиях значительная часть причин, снижающих эффективность использования техники, может быть устранена совершенствованием и развитием разработанной ГОСНИТИ системы технического сервиса машин и оборудования в АПК, одним из элементов которого являются МТС.

## **8.2. Условия и особенности эффективного технического сервиса МТП**

Сельское хозяйство – наиболее сложная и трудоёмкая отрасль, как в АПК, так и во всем народном хозяйстве. В большой и сложной производственной системе (какой является сельское хозяйство) основное производство и обслуживающие структуры находятся во взаимобусловленной двухсторонней связи.

При этом общий уровень экономики народного хозяйства, снижение уровня технической оснащённости не позволяют в достаточной степени использовать производственно-экономический потенциал для развития с.-х. производства.

Концентрация техники в МТС, организация из крупных механизированных подразделений отрядов и комплексов способствуют решению задач по производству с.-х. продукции при снижении потребности в инвестициях на воссоздание технического потенциала АПК.

Для оптимизации количественного и марочного состава МТП разработаны критерии и технико-экономическая модель, учитывающие особенности вариантов организации производственной деятельности МТС.

Не смотря на сложность поставки задачи и ее последующей реализации, представляется целесообразной и возможной разработка единого (общего) критерия эффективности МТС. В качестве такого критерия в условиях рыночных экономических отношений наиболее приемлема прибыль МТС, получаемая от производства или участия в производстве и реализации с.-х. продукции как на собственном севообороте, собственными силами, так и у обслуживаемых сельских товаропроизводителей.

В общем виде критерий эффективности совместной производственной деятельности МТС и хозяйств будет иметь вид:

$$P_p = (B - C) \Rightarrow \max, \quad (8.2.1)$$

где  $B$ ,  $P_p$  – соответственно выручка и прибыль от совместного производства и реализации продукции, руб.;  $C$  – себестоимость производства с.-х. продукции, руб.

При этом себестоимость производства с.-х. продукции складывается из производственных затрат товаропроизводителя ( $C_x$ ) и МТС ( $C_c$ ):

$$C = C_x + C_c \quad (8.2.2)$$

Полные затраты на производство с.-х. продукции ( $C$ ) включают следующие статьи затрат:

$$C = A + Z_{\text{пн}} + Z_r + Z_{\text{торх}} + Z_y + Z_c + \text{НР} + \text{Н}, \quad (8.2.3)$$

где  $A$  – сумма амортизационных отчислений, руб.;  $Z_{\text{пн}}$  – заработная плата с зачислениями, руб.;  $Z_r$  – затраты на топливно-смазочные материалы, руб.;  $Z_{\text{торх}}$  – затраты на техническое обслуживание, ремонт и хранение МТП, руб.;  $Z_y$  – затраты на удобрения, руб.;  $Z_c$  – затраты на семенной материал, руб.;  $\text{НР}$  – накладные расходы, руб.;  $\text{Н}$  – налоги, исчисляемые исходя из себестоимости продукции (услуг), руб.

Анализ затрат показывает следующее. Если бы МТС и хозяйство применяли одинаковые машинно-тракторные агрегаты для производства конкретной с.-х. продукции, то они имели бы одинаковые удельные эксплуатационные затраты (на амортизацию, топливо-смазочные материалы, содержание техники и др.).

Затраты на удобрения и семена при совместном производстве продукции обычно несут на себе обслуживаемые хозяйства, но это не исключает участие в этих затратах МТС.

При этом сомнительная оценка производительной (полной) себестоимости выполняемых механизированных работ (услуг) показывают, что наибольшие различия имеют общепроизводственные (накладные) расходы и налоги хозяйств и станции. Это связано с принципиально различной производительной структурой, применяемыми техническими средствами и средствами их обслуживания, квалификацией специалистов и др. факторами.

Соотношение накладных расходов хозяйств и МТС можно было бы учитывать при определении доли участников совместного производства, если бы образующие их факторы имели оптимальные значения.

Значительно отличаются и системы налогообложения сельских товаропроизводителей и МТС, приравненных по налогообложению к промышленным предприятиям. В результате чего сумма налогов с учетом возможных льгот (НДС, налоги на имущество, дороги, прибыль и др.) для с.-х. товаропроизводителей составляет 12.....15 %, для МТС – 25....30 % от себестоимости продукции (работ, услуг) с учетом их различных организационно-правовых норм.

Таким образом, существенные различия в налогообложении указывают на целесообразность исключения налогов при определении долей участников совместного производства с.-х. продукции.

Поэтому эти доли предлагается оценить только по сумме прямых производственных затрат.



## **9. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА**

Математическое моделирование деятельности человека-оператора (тракториста, водителя автомобиля, программиста и т.п.) является средством приближенной оценки влияния конструктивных параметров рабочего места человека-оператора в эргатической системе (ЭС) на эффективность его операторской деятельности  $\langle R_4, Q_4, \varepsilon \rangle$ .

При этом принимаем, что модель деятельности человек-оператор входит в состав имитационной модели всей ЭС.

Целью исследования имитационной модели является:

- оценка надежности (уровня безопасности) системы;
- психофизических нагрузок оператора;
- качества деятельности оператора по показателям своевременности и безошибочности выполнения своих функций.

Основными переменными модели являются:

- числовые элементы характеристик элементов структуры деятельности и значения психофизиологических характеристик оператора;
- напряженность и функциональное состояние оператора;
- показатели качества деятельности оператора и надежности системы.

### **9.1. Напряженность деятельности человека-оператора**

Большинство причин, обуславливающих нагрузку человека-

оператора, можно учесть в переменной, которая описывает напряженность оператора.

В модели должны быть учтены следующие факторы, влияющие на изменение напряженности оператора:

- его скоростные возможности;
- опыт оператора в данном виде деятельности;
- характеристики подвижности центральной нервной системы (ЦНС) оператора;
- функциональное состояние оператора;
- число встречных объектов (или препятствий), за которыми осуществляется слежение;
- разнообразие возможных ситуаций;
- необходимость повторения оператором действий по вводу информации в ЭВМ о встречном объекте (ВО) из-за ошибок, допущенных им в предыдущих циклах ввода информации.

В модели общая напряженность представлена как кумулятивная функция темповой напряженности и ситуационной напряженности деятельности оператора.

Значение общей напряженности определяет в модели требования к объему работ, который должен быть выполнен оператором для решения стоящих перед ним задач, по сравнению с тем объемом, который он выполняет при отсутствии напряженности. При этом значение общей напряженности изменяется от 1 до 5.

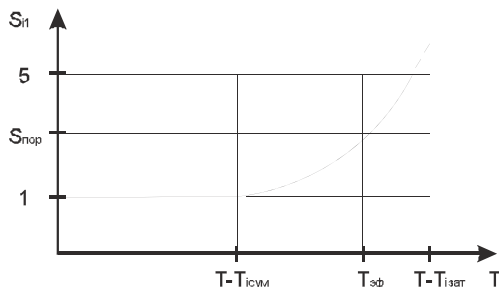
Темповая напряженность определяется для тех последовательностей действий оператора (соответствующих подструктуры его деятельности), которые должны быть выполнены за фиксированный промежуток времени. Назовем их  $F$  – подструктурами.

Она вычисляется, как отношение:

$$S_{i1} = \frac{T_{i\text{сум}}}{(T - T_{i\text{зат}})}, \quad (9.1.1.)$$

где  $T_{i\text{сум}}$  – сумма средних времен выполнения оставшихся действий в подструктуре;  $T_{i\text{зат}}$  – время, затраченное оператором на выполнение действий подструктуры, предшествующих  $i$ -му;  $T$  – фиксированный временной интервал, за который должна быть выполнена данная  $F$  – подструктура;  $S_{i1}$  – темповая напряженность перед выполнением  $i$ -го действия подструктуры.

Вид зависимости между напряженностью  $S_{i1}$  и величиной  $T_{изг}$  представлен на рисунке 1.



**Рисунок 9.1.1 – Зависимость темповой напряженности деятельности от дефицита времени**

При вычислении ситуационная напряженность вычисляется для каждой группы соответственно по формулам (в предположении, что зависимость напряженности от времени после обнаружения ситуации линейная):

$$\begin{aligned}
 S_{i2} &= tg\varphi_B(t - t_{ид}) + S_{2нач}; \\
 S_{i2} &= S_{2нач}; \\
 S_{i2} &= -tg\varphi_T(t - t_{ид}) + S_{2нач},
 \end{aligned}
 \tag{9.1.2}$$

где  $\varphi_B$  и  $\varphi_T$  – характеристики процессов возбуждения и торможения ЦНС оператора;  $t_{ид}$  – момент обнаружения ситуации;  $S_{2нач}$  – значение ситуационной напряженности перед выполнением оператором  $i$ -го действия.

Характеристики процессов возбуждения и торможения ЦНС оператора определяются по предельной напряженности его деятельности в ситуациях первой группы и относительной длительности этих процессов.

Рассмотренные характеристики подвижности ЦНС оператора задаются в модели коэффициентами  $k_B$  и  $k_T$ .

## **9.2. Влияние напряженности деятельности оператора на качество его работы**

В модели деятельности оператора учитываются влияние напряженности на время и вероятность успешного выполнения действий оператора.

Предполагается, что при увеличении напряженности время выполнения действий уменьшается, а вероятность успешного их выполнения растет. В определенной точке порогового уровня напряженности оператора предъявляются к его деятельности требования становятся предельными, причем при увеличении напряженности выше этого уровня эффективность деятельности оператора начинает ухудшаться.

Зависимость, описывающая влияние напряженности деятельности оператора на качество (эффективность) его работы, изображена на рисунок 10.2.1.

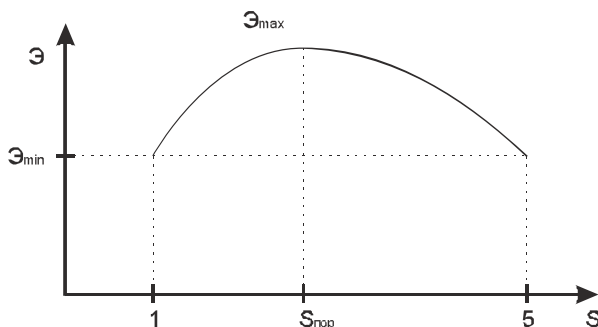


Рисунок 9.2.1 – Зависимость качества работы от напряженности

### 9.3. Функциональное состояние человека-оператора

Функциональное состояние (ФС) оператора представлено в модели в виде зависимости коэффициента  $K_{\text{фс}}$  от времени непрерывной работы оператора. При этом величина  $K_{\text{фс}}$  обозначает, во сколько раз меньший объем работы способен выполнить оператор, находящийся в соответствующих ФС, чем тот, который он выполняет в наилучшем для данного вида деятельности состоянии. В модели  $K_{\text{фс}}$  оператор изменяется в тех же пределах, что и напряженность его деятельности.

В ФС оператора условно можно выделить 3 фазы:

- вработываемость;
- его устойчивое ФС;
- нарастающее утомление.

При этом первая и третья фазы представлены в модели в виде

квадратических зависимостей  $K_{\text{фс}}$  от времени функционирования оператора, а на фазе устойчивого ФС  $K_{\text{фс}}$  является постоянной величиной и равен единице.

Значения  $K_{\text{фс}}$  оператора вычисляется на перечисленных фазах ФС по следующим формулам:

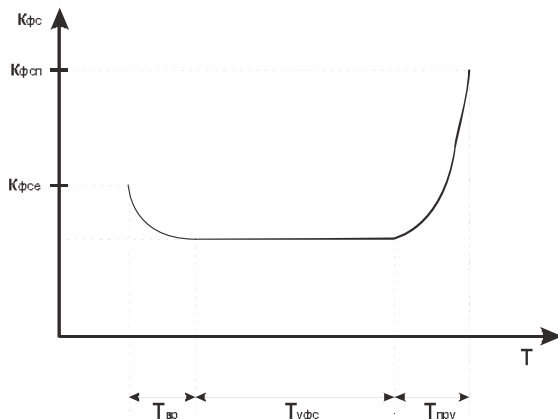
$$K_{\text{фс}} = \frac{K_{\text{фсн}} - 1}{T_{\text{вр}}^2} (t - T_{\text{вр}})^2 + 1; \quad K_{\text{фс}} = 1;$$

$$K_{\text{фс}} = \frac{K_{\text{фсп}} - 1}{T_{\text{пру}}^2} (t - T_{\text{вр}} - T_{\text{уфс}})^2 + 1, \quad (9.3.1.)$$

где  $K_{\text{фсн}}$  – соответствует началу функционирования оператора;  $T_{\text{вр}}$  – интервал вработываемости оператора;  $T_{\text{фсп}}$  – соответствует предельному утомлению оператора;  $T_{\text{пру}}$  – интервал достижения оператором предельного утомления;  $T_{\text{уфс}}$  – интервал устойчивого ФС оператора.

Здесь величины  $K_{\text{фсн}}$ ,  $T_{\text{вр}}$ ,  $K_{\text{фсп}}$ ,  $T_{\text{пру}}$  зависят от опытности оператора и вычисляются перед началом моделирования.

Общий вид зависимости  $K_{\text{фс}}$  от времени непрерывной работы оператора представлен рисунок 3.



**Рисунок 9.3.1 – Общий вид зависимости  $K_{\text{фс}}$  от длительности работы человека-оператора**

#### 9.4. Влияние ФС оператора на качество его деятельности

В модели учитывается влияние ФС оператора на время и вероятность успешного выполнения его действия. На фазе вработываемости  $K_{\text{фс}}$  оператора воздействует на время выполнения действий аудитивно с общей напряженностью.

При этом время выполнения действий на этой фазе возрастает на величину:

$$t_{i\text{фс}} = \frac{K_{\text{фс}} + K_{\text{фсн}} - 2}{K_{\text{фсн}}} t_{\text{ин}}, \quad (9.4.1)$$

где  $t_{\text{ин}}$  – время выполнения  $i$ -го действия с учетом влияния напряженности.

Предполагается, что влияние ФС на временные характеристики – максимально ухудшающее. Вероятность успешного выполнения действий на фазе вработываемости не зависит от  $K_{\text{фс}}$  оператора.

На фазе устойчивого ФС оператора его состояние близко к наилучшему для данного вида деятельности. Поэтому ухудшающее влияние  $K_{\text{фс}}$  на эффективность его деятельности отсутствует.

Влияние  $K_{\text{фс}}$  оператора при нарастающем утомлении на основные переменные модели наиболее существенно. С ростом утомления уменьшается влияние напряженности оператора на временные и вероятностные характеристики его деятельности. При этом предполагается, что нарастающее утомление «заглубляет» реакции оператора и при предельном утомлении оператора становится нечувствительным к изменениям ситуационной обстановки.

Текущее значение общей напряженности деятельности оператора на данной фазе вычисляется по формуле:

$$S_{ij} = \begin{cases} S_i - K_{\text{фс}}, & \text{если } S_i - K_{\text{фс}} \geq 1; \\ 1, & \text{если } S_i - K_{\text{фс}} < 1, \end{cases} \quad (9.4.2)$$

где  $S_i$  – общая напряженность перед выполнением  $i$ -го действия

При этом утомление влияет как на время, так и на вероятность успешного выполнения действий, ухудшая их до предельных значений, равных соответственно  $2t_{\text{ин}}$  и  $2p_{\text{ин}} - 1$ .

Добавка к времени выполнения  $i$ -го действия, обусловленная влиянием  $K_{\text{фс}}$  оператора на фазе нарастающего утомления, вычисляется по формуле:

$$t_{i\text{фс}} = \frac{K_{\text{фс}} + K_{\text{фсн}} - 2}{K_{\text{фсн}} - 1} t_{\text{ин}}. \quad (9.4.3)$$

Вероятность успешного выполнения действий на этой фазе

$$p_i = \begin{cases} p_{\text{ин}} - (1 - p_{\text{ин}}) \frac{K_{\text{фс}} - 1}{K_{\text{фсн}} - 1}, & \text{если } K_{\text{фс}} \leq K_{\text{фсн}}; \\ 2p_{\text{ин}} - 1, & \text{если } K_{\text{фс}} > K_{\text{фсн}}, \end{cases} \quad (9.4.4)$$

где  $p_{\text{ин}}$  – вероятность успешного выполнения  $i$ -го действия с учетом влияния общей напряженности.

### 9.5. Показатели оценки качества деятельности человека-оператора

Качество деятельности оператора оценивается с точки зрения своевременного и безошибочного выполнения им своих функций.

Для оценки этих показателей в модели используется обобщенный структурный метод, позволяющий определить для структуры деятельности вероятность безошибочного выполнения задач и  $P_{\text{бвз}}$  первых 2 моментов времени выполнения задачи:  $mT_{\text{вз}}$  и  $\sigma(T_{\text{вз}})$ .

В этом методе за интегральный показатель качества деятельности оператора принимается вероятность выполнения задачи.

$$P_{\text{вз}} = P_{\text{бвз}} \cdot P_{\text{свз}}. \quad (9.5.1)$$

При выполнении вероятности своевременного выполнения задачи предполагается, что может быть охарактеризовано гамма-распределением. Это позволяет вычислить вероятность своевременного выполнения задачи по первым 2 моментам времени выполнения структуры деятельности.

Таким образом,

$$P_{\text{вз}} = P_{\text{бвз}} \int_0^{T_{\text{доп}}} \frac{1}{\Gamma(\alpha + 1)\beta^{\alpha+1}} \cdot t^\alpha e^{-\frac{t}{\beta}} \cdot dt, \quad (9.5.2)$$

$$\text{где } \alpha = \frac{(mT_{\text{вз}})^2}{\sigma(T_{\text{вз}})}; \quad \beta = \frac{mT_{\text{вз}}}{\sigma(T_{\text{вз}})}, \quad (9.5.3)$$

а  $T_{\text{доп}}$  – допустимое время расхождения, в пределах которого маневрирование движущегося и встречного объекта имеет смысл.

## **10. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЭРГОДИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Каждый компонент эргодической системы (ЭС) представляет собой относительно самостоятельный предмет исследований различных наук, каждая из которых оперирует своим языком исследования, своим формализмом, своей точкой зрения на проблему анализа и синтеза ЭС.

При этом НТП требует решения задач построения оптимальных систем «человек-машина» сегодня. Эти задачи могут быть решены с помощью системных методов исследований, пригодные для изучения любой системы управления, независимо от ее природы (в том числе, АСУ на объектах АПК).

### **10.1. Математическая формализация в системном анализе и синтезе ЭС**

В нашем случае, для анализа и синтеза ЭС может быть использована теория дифференциальных уравнений. Выбор дифференциальных уравнений обусловлен и тем, что данный формализм себя уже практически зарекомендовал, как доступный общесистемный «инструментарий».

При этом в качестве его основных достоинств выступают работанность и широта области охватываемых явлений – от стационарных до динамических. Последний класс явлений особенно важен, так как ЭС – это сугубо динамические системы.

На практическую возможность математического описания протекающих в ЭС процессов указывает такой важный системный



фактор, как единый допустимый порог (точность) детализации этих процессов. Здесь имеется в виду формализация и феноменология операторской деятельности человека и технических процессов математическими моделями.

Дифференциальные модели позволяют описывать процессы, происходящие в динамических многомерных нестационарных системах, а если говорить о системах управления производством, то и процессы, происходящие на разных уровнях их иерархии. Так, для каждого элемента ЭС (см. рисунок 10.1.1.) допускается в общем виде описание в аналитической форме процессов преобразования входных воздействий  $y(t)$  в выходные  $x(t)$ :

$$dx / dt = f(t, x, y), \quad (10.1.1.)$$

где  $f$  – некоторая функция аргументов  $t, x$  и  $y$ ;  $t$  – время.

В общем случае (11.1.1.) является нелинейным дифференциальным уравнением.

При этом в частном (но часто принимаемом) случае функция имеет вид:

$$f(t, x, y) = at + bx + cy, \quad (10.1.2.)$$

где  $a, b, c$  – постоянные коэффициенты.

Тогда уравнение (11.1.1) примет вид

$$dx / dt = at + bx + cy, \quad (10.1.3.)$$

и называется линейным дифференциальным уравнением с постоянными коэффициентами.

Так как большинство создаваемых в настоящее время систем «человек-машина» относятся к ЭС с репродуктивно-преобразующей машиной (рисунок 10.1.1), то рассмотрим принцип ее действия.

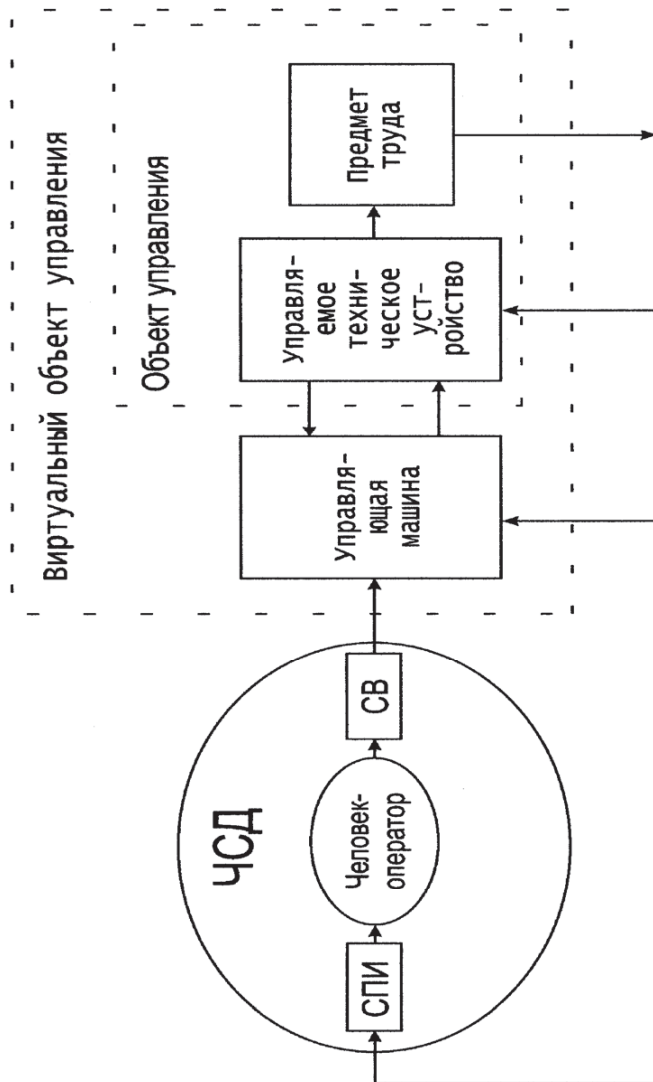


Рисунок 10.1.1 – Схема ЭС с репродуктивно-преобразующей машиной

Прежде всего конкретизируем и представим в удобном виде вышеописанную структуру ЭС (содержащую человека, орудие,

предмет деятельности и внутреннюю среду), как ЭС с репродуктивно-преобразующей машиной (обычной ЭВМ или самоорганизующимся устройством), которая изображена на рисунке 10.1.1.

Человек-оператор воздействует на управляющую машину, а через нее на объект управления, включающий управляемое техническое устройство и предмет труда.

Информация поступает к нему через средства предъявления информации (СПИ). Для воздействия он использует средства воздействия (СВ), то есть органы управления, средства связи и тому подобное.

Для того, чтобы исследовать и осуществлять синтез ЭС на системном уровне, необходимо иметь возможность описания всех элементов системы одним формализованным языком. Поэтому целесообразно рассматривать человека-оператора вместе со средствами деятельности как элемент (или подсистему ЭС) «человек-средства деятельности» (ЧСД).

Таким образом, будем иметь дело с 3-мя основными элементами ЭС:

- ЧСД;
- управляющей машиной;
- объектом управления.

В некоторых случаях приходится объединять машину с объектом управления. Такой элемент называется виртуальным объектом управления (фактический, реально проявляющийся). По аналогии объединение человек с машиной называется виртуальным субъектом. Основой методологии создания таких ЭС является организмическая теория.

## **10.2. Передаточные функции, как форма представления модели ЭС**

В теории линейного управления широко используются наиболее экономичные в практическом применении средства описания динамических средств элементов и систем – передаточные функции.

Передаточной функции элемента называется отношение изображения  $X(p)$  выходной величины  $x(t)$  к изображению  $Y(p)$  входной величины  $y(t)$  при нулевых начальных условиях. Практически пере-

даточная функция для элемента системы получается следующим образом.

Пусть вместо (11.1.3.) имеем:

$$\frac{dx}{dt} = -bx + cy \quad \text{или} \quad \frac{dx}{dt} + bx = cy \quad (10.2.1.)$$

Используем символ  $p$  для отображения операции дифференцирования:

$$p = d / dt. \quad (10.2.2.)$$

С его помощью (10.2.1.) записывается в виде уравнения:

$$px + bx = cy, \quad (10.2.3.)$$

которое по своему аналогично уравнению в изображениях:

$$pX(p) + bX(p) = cY(p) \quad (10.2.4.)$$

или

$$(p + b)X(p) = cY(p). \quad (10.2.5.)$$

Образуя отношение изображений  $X(p)/Y(p)$ , получаем то, что в теории управления называется передаточной функцией элемента системы:

$$W(p) = X(p) / Y(p) = c / (p + b). \quad (10.2.6.)$$

В более общем случае, когда поведение системы описывается линейным уравнением высокого порядка или системой уравнений  $n$ -го порядка, передаточная функция системы имеет вид:

$$W(p) = \frac{c_m p^m + c_{m-1} p^{m-1} + \dots + c_1 p + c_0}{b_n p^n + b_{n-1} p^{n-1} + \dots + b_1 p + b_0} = \frac{Q(p)}{P(p)}, \quad (10.2.7)$$

$$\begin{aligned} \text{где} \quad Q(p) &= c_m p^m + c_{m-1} p^{m-1} + \dots + c_1 p + c_0 \\ P(p) &= b_n p^n + b_{n-1} p^{n-1} + \dots + b_1 p + b_0. \end{aligned} \quad (10.2.8.)$$

Таким образом, передаточная функция системы является дробно-рациональной функцией аргумента  $p$ , а свойства системы отображаются коэффициентами полиномов.

Выбор формы задания системы дифференциальных уравнений определяется не только «первородным» видом дифференциального уравнения системы, но и удобством его представления для проведе-

нии исследований АСУ в различных условиях испытаний.

При этом следует иметь в виду, что процессам, происходящим в ЭС, при их общем динамическом характере свойственны, как правило:

- вариативность;
- неоднозначность;
- размытость;
- ветвистость;
- катастрофичность.

При формальном описании указанные явления находят свое отражение в соответствующем виде нелинейной правой части дифференциальных уравнений.

### 10.3. Математические модели объекта управления

При синтезе и анализе ЭС язык дифференциальных уравнений является языком высшего уровня абстракции. Это означает, что на данном едином языке будут решаться все задачи – от построения моделей каждого элемента и до построения ЭС в целом.

В качестве объекта управления в ЭС могут выступать инструменты, машины, технологические процессы.

В настоящее время возможно математическое описание всех типов объектов управления системами обыкновенных дифференциальных уравнений вида:

$$\begin{aligned} dx_i / dt &= f_i(t, x_1, \dots, x_n, u_1, \dots \\ &\dots, u_v, v_1, \dots, v_m), i = 1, \dots, n; \\ u &\in U, v \in V, \end{aligned} \tag{10.3.1}$$

где  $x = (x_1, \dots, x_n)$  – вектор выходных величин объекта управления;

$u = (u_1, \dots, u_v)$  – вектор входных управляющих величин;

$v = (v_1, \dots, v_m)$  – вектор входных возмущающих величин;

$U$  – диапазон изменения возмущающих величин.

Математическая модель достоверно отображает «поведение» объекта управления на временном интервале  $t \in (0, T)$  и при изменении выходных параметров системы в области  $x \in X$  и параметров среды в области  $v \in V$ .

При этом системный смысл модели состоит в том, что она учитывает и взаимодействие со средой. Данный факт находит отражение как в структуре (виде) модели, так и в ее параметрах.

Проиллюстрируем сказанное примерами.

### **10.3.1. Автомобиль (или трактор), как транспортирующее средство для перемещения грузов на плоскости**

Геометрическое положение автомобиля может быть охарактеризовано 3-мя координатами:  $x_1$  и  $x_2$  – положением автомобиля в декартовой системе координат и  $x_3$  – углом между осью автомобиля и осью  $x_1$ .

Автомобиль управляется с помощью рулевого колеса и двигателя (для простоты рассмотрим лишь движение вперед). Мотор управляет тангенциальным ускорением  $dx_1 / dx_2$ , задаваемым углом поворота  $u_1$  акселератора. Поворот же рулевого колеса на угол  $u_2$  задает кривизну  $x_5$  траектории движения автомобиля.

Упрощенно модель движения автомобиля (пренебрежение, например, инерционностью двигателя, жесткостью подвески кузова и т. п.) имеет вид:

$$\begin{aligned} dx_1 / dt &= x_4 \cos x_3; \\ dx_2 / dt &= x_4 \sin x_3; \\ dx_3 / dt &= x_4 x_5; \\ dx_4 / dt &= F(Au_1) - kx_4; \\ dx_5 / dt &= Wu_2; \\ u_1 &\in (0,1), u_2 \in (-1, +1), \end{aligned} \tag{10.3.1.1.}$$

где  $F$  – сила, развиваемая двигателем;  $k$  – коэффициент трения;  $A$  – максимально возможное ускорение;  $W$  – максимальная скорость изменения  $x_5$ .

### **10.3.2. Силовая гироскопия, как средство управления положением инерционной массы**

Система уравнений данного объекта имеет вид:

$$\begin{aligned}
J \frac{d^2 x_1}{dt^2} - x_3 &= -u; \\
-k_{\Gamma} \frac{dx_1}{dt} + T_{\Gamma}^2 \frac{d^2 x_2}{dt^2} + 2T_{\Gamma} \xi \frac{dx_2}{dt} + x_2 &= 0; \\
T_{\text{д}} \frac{dx_3}{dt} + x_3 &= k_{\text{д}} x_3,
\end{aligned}
\tag{10.3.2.1.}$$

где первое уравнение описывает движение стабилизируемой инерционной массы; второе – гироскопа; третье – силового привода.

Здесь приняты следующие обозначения:  $x_1$  – положение платформы;  $x_2$  – выходная координата гироскопа;  $x_3$  – момент, развиваемый силовым приводом;  $u$  – управление;  $J$  – момент инерции стабилизируемой платформы, приведенной к валу исполнительного привода;  $T_{\Gamma}$  – постоянная времени гироскопа;  $\xi$  – его коэффициент условия;  $T_{\text{д}}$  и  $k_{\text{д}}$  – постоянная времени и коэффициент усиления привода.

### 10.3.3. Технологический процесс создания работоспособного парка технических устройств (приборов) предприятия АПК

Пусть технический парк состоит из большого количества  $N$  однородных технических устройств (приборов).

Математическая модель состояний каждого прибора формализует взаимосвязь следующих состояний:

- 1)  $S_1$  – прибор исправен;
- 2)  $S_2$  – неисправен, осматривается;
- 3)  $S_3$  – признан негодным, списан;
- 4)  $S_4$  – ремонтируется.

Объектом управления является состояние всего парка приборов.

Математическая модель системы описывает взаимосвязь средних численностей  $m_i$  приборов, находящихся в  $i$ -м состоянии, в виде дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned}
\frac{dm_1}{dt} &= -\lambda m_1 + \frac{m_4}{f(m_4)} + u_1; \\
\frac{dm_3}{dt} &= p\lambda_{\text{осм}} m_2; \\
\frac{dm_2}{dt} &= -\lambda_{\text{осм}} m_2 + \lambda m_1; \\
\frac{dm_4}{dt} &= -\frac{m_4}{f(m_4)} + (1-p)\lambda m_2 + u_4,
\end{aligned}
\tag{10.3.3.1}$$

где  $\lambda$  – интенсивность потока неисправностей работающего прибора;  $\lambda_{\text{осм}} = \frac{1}{t_{\text{осм}}}$  – интенсивность потока выявления неисправных приборов;  $t_{\text{осм}}$  – среднее время осмотра;  $p$  – вероятность того, что неисправный прибор будет списан;  $(1-p)$  – вероятность того, что он направлен в ремонт;  $f(m_1)$  – функция, характеризующая среднее время нахождения прибора в состоянии ремонта, зависящая от численности приборов, находящихся в ремонте;  $u_1$  – интенсивность пополнения системы исправными приборами (в состоянии  $S_1$ );  $u_2$  – интенсивность пополнения ремонтной мастерской неисправными приборами.

Таким образом,  $u_1$  и  $u_4$  – это управляющие воздействия на объект управления, образованный предприятием с его ремонтно-эксплуатационной службой.

По отношению к данному аспекту формализации технологического процесса величины  $u_1$  и  $u_4$  – это управляющие входные воздействия, образуемые в организационной системе высшего уровня.

#### **10.4. Представление математических моделей объектов управления в ЭС на системном уровне**

Представленные примеры концентрируют внимание разработчиков ЭС на том факте, что математические модели объектов управления в ЭС на системном уровне синтеза и анализа описываются обыкновенными дифференциальными уравнениями. При этом в общем случае математические модели объектов управления – это нелинейные нестационарные дифференциальные уравнения.

При этом принципиальное отличие модели, создаваемой для синтеза структур ЭС, от модели, предназначенной для использова-



ния в составе обучающей ЭС (или как иногда говоря, в составе тренажера) состоит в следующем.

На первый взгляд кажется, что модель, закладываемая в качестве основы для имитации динамических процессов, происходящих в штатной ЭС, должна как можно точнее математически отображать свойства истинного объекта управления.

Однако, для человека-оператора существует порог различия свойств объекта управления и свойств модели. Данный факт указывает на возможность построения достаточно простых моделей, пригодных для использования в тренажерах с целью формирования целесообразной операторской и управленческой деятельности при проектировании и эксплуатации АСУ на объектах АПК.

Проведенные исследования позволяют говорить о возможности, в ряде случаев, существенно упрощать модели, предназначенные для создания имитаторов процессов промышленного и с.-х. производства.

## **11. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ АПК**

Оптимизация – это выбор из некоторого числа вариантов наилучшего. Под вариантом понимается комплекс инженерных решений, приводящих к поставленной цели. Выбор наилучшего варианта называют также технико-экономическим обоснованием.

Чтобы операция оптимизации имела смысл, необходимо обеспечить принципиальную сравнимость (сопоставимость) рассматриваемых вариантов. Эта сравнимость заключается в гарантировании одинакового народнохозяйственного, сельскохозяйственного, социального и других эффектов, для чего все варианты должны удовлетворять ряду требований:

1. Во всех вариантах должны быть предусмотрены производство продукции, одинаковой по качеству и количеству.

2. Во всех вариантах должна быть отражена необходимая полнота технологического процесса, диктуемая конкретной постановкой задачи.

3. Варианты должны в равной степени обеспечивать технику безопасности и не угрожать здоровью и жизни людей на производстве и в быту.

4. Варианты должны обеспечивать одинаковый уровень охраны окружающей среды (ОС), причем в первую очередь воздушных и водных бассейнов.

5. Варианты должны соответствовать рыночным отношениям и планам развития народного хозяйства: общегосударственной политике повышения благосостояния трудящихся, разработке и использованию полезных, исполняемых, экспертной политике и т. д.

6. Варианты должны обеспечивать необходимую надежность функционирования системы, оборудования и др.

7. Варианты должны, по возможности, отвечать одинаковым эстетическим, эргономическим и др. требованиям.

Если варианты не отвечают некоторым из этих требований, а сравнение все же необходимо, следует привести их к сопоставимому виду путем учета определенных дополнительных мероприятий.

### 11.1. Составление целевых функций

Уровень оптимизации систем, процесса, сооружения, установок говорит о степени их совершенства.

При этом оптимизация состоит из следующих операций:

- составление целевой функции;
- отношение значений параметров, при которых значение целевой функции будет экспериментальным.

Целевая функция  $\Phi$  является математическим выражением связи стоимостных или материальных показателей, обеспечивающих нормальное функционирование системы и ее параметров, подлежащих оптимизации

Эти параметры играют роль аргументов и называются управляющими переменными  $(x, y, z, \dots)$ :

$$\Phi = \Phi(x, y, z, \dots; a, b, c, \dots), \quad (11.1.1.)$$

где  $a, b, c, \dots$  – величины, характеризующие граничные условия, в которых может функционировать система

В качестве управляющих переменных могут вступать конструктивные параметры и системы (например, время сооружения системы, надежность системы и др.)

Наибольшую трудность, как правило, представляет составление целевой функции, адекватно отражающей свойства объекта, процесса или их моделей (с учетом всех многосторонних прямых и обратных связей, обычно имеющих место на практике).

При этом модель является результатом схематизации реальной картины. Степень схематизации зависит от общего замысла и целей анализа, от ожидаемой полноты и точности решения. Главное, чтобы модель отражала наиболее существенные черты явления без воспроизведения второстепенных подробностей.

Затраты больших усилий на построение сложных моделей редко приводят к созданию модели, которая бы обеспечивала лучшие результаты по сравнению с простой моделью. Но и другая крайность – предельной упрощение модели – несет опасность уменьшения достоверности результата. Поэтому сам процесс составления целевой функции должен быть оптимизирован.

Основным принципом составления целевой функции является то, что в ней должна отражаться относительная эффективность двух или более противоречивых экономических эффектов, то есть двух или более разнонаправленных тенденций изменения технико-экономических показателей системы при изменении ее параметров (управляющих переменных).

Например, при увеличении числа газораспределительных сетей стоимость их увеличивается, а стоимость распределительных сетей низкого давления уменьшается; при снижении температуры продуктов сгорания, уходящих из котла, расход газа этим котлом уменьшается, а затраты на электроэнергию и сооружение поверхностей нагрева увеличивается.

Для возможности суммирования этих затрат при формировании целевой функции рассматриваемые эффекты должны быть выражены в одинаковых единицах.

Кроме того, желательно, чтобы «чувствительность» сравниваемых эффектов к изменению параметра была различной: чем больше отличаются градиенты этих эффектов по абсолютному значению в зоне предполагаемого экстремума, тем более точно может быть определено искомое значение оптимизируемого параметра.

После составления целевой функции одним из методов, которые будут рассмотрены ниже, определяют значение параметров, обеспечивающих ее минимум или максимум.

$$\Phi = \Phi(x_0, y_0, z_0, \dots; a, d, c, \dots) = \min \quad (11.1.2.)$$

или

$$\Phi = \Phi(x_0, y_0, z_0, \dots; a, b, c, \dots) = \max, \quad (11.1.3.)$$

где  $x_0, y_0, z_0, \dots$  – оптимальные значения управляющих переменных.

В первом случае целевая функция может характеризовать металлоемкость системы, стоимость или приведенные затраты; во втором – пропускную способность, фондоотдачу, удельный теплосъем и т. д.

Часто целевая функция настолько сложна, что отыскание глобального экстремума по всем управляющим переменным невозможно или неоправданно трудно (особенно, когда управляющие переменные не являются независимыми переменными:  $x = x(y)$ ;  $y = y(z)$ ;  $z = z(x)$  и т. д.

В таких случаях прибегают к искусственной декомпозиции системы, заменяя целевую функцию (11.1.1.) несколькими частными – обычно по числу управляющих переменных:

$$\begin{aligned} \Phi_1 &= \Phi_1(x) \text{ при } y, z \dots = \text{const}; \\ \Phi_2 &= \Phi_2(y) \text{ при } x, z \dots = \text{const}; \text{ и т. д.} \end{aligned} \quad (11.1.4.)$$

Далее из соответствующих уравнений находят оптимальные значения  $x'_0, y'_0, z'_0, \dots$ , предполагая, что они должны достаточно близко совпадать с теми, которые были бы найдены из уравнения (11.1.1.):  $x'_0 \approx x_0$ ;  $y'_0 \approx y_0$ ;  $z'_0 \approx z_0$  и т. д.

Однако, такое совпадение имеет место всегда, а потому корректность принимаемой декомпозиции иногда необходимо доказывать.

## **11.2. Виды целевых функций, используемые в моделях промышленного и сельскохозяйственного производства**

Рассмотрим некоторые возможные виды целевых функций (рисунок 11.2.1.):

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2. \quad (11.2.1.)$$

Пусть все эти функции по техническим или другим условиям интересуют в интервале  $(\Pi_{\min}, \Pi_{\max})$ .

На рисунке 11.2.1.а представлена целевая функция, где при всех значениях параметра  $\Pi$   $\Phi = \Phi'_0 + \Phi''_0 = \text{const}$ , т. е. целевая функция не имеет экстремума. При этом во всем диапазоне изменения  $\Pi$  значения целевой функции остаются постоянными и все возможные решения равноэкономическими. Оптимизация такой функции не имеет смысла. Весь располагаемый диапазон – это зона экономической неопределенности (ЗЭН).

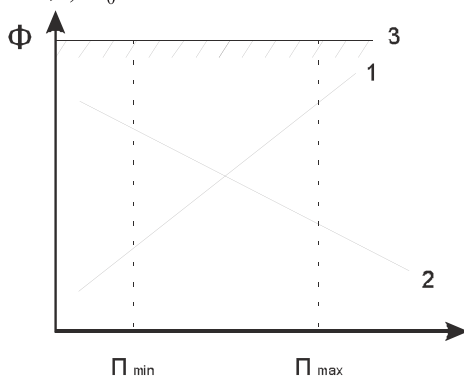
На рисунках 11.2.1. б и 11.2.1. в целевые функции имеют экстремум, которому отвечает значение параметра  $\Pi_0$ ; в первом случае ЗЭН достаточно широка: при значительном отклонении параметра от оптимального значения в интервале  $(\Pi_1, \Pi_2)$  значение целевой функции практически неизменно, во втором случае интервал намного уже.

Для большинства целевых функций, которые приходится анализировать в практических задачах по газоснабжению городов, характерно развитая ЗЭН. Это, с одной стороны, позволяет существенно упростить систему поиска оптимальных инженерных решений (отказ от поиска единственно верного решения в пользу совокупности нескольких примерно равноценных), а с другой – создает слишком большие возможности для субъективных решений.

Поэтому сужение ЗЭН представляет нередко важную задачу.

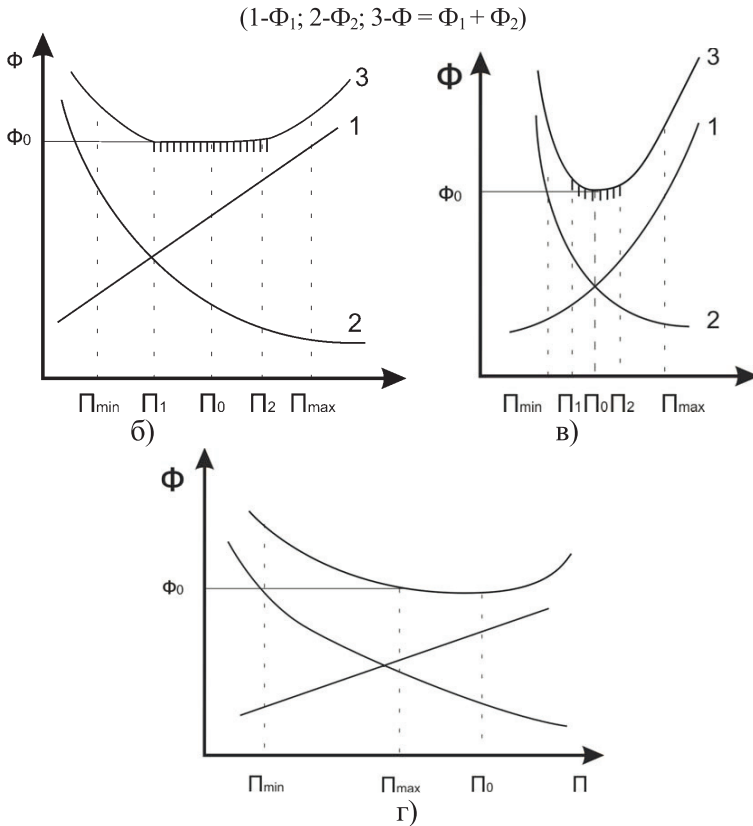
При этом геометрическая интерпретация целевой функции иногда создает обманчивое представление о наличии ЗЭН и ее мере.

Поскольку ордината и абсцисса функции  $\Phi = \Phi(\Pi)$  имеют разную размерность, имея их масштаб, можно обеспечить любую крутизну целевой функции в области экстремума. Поэтому здесь следует ориентироваться на аналитическую оценку приращения  $\Delta\Phi$  при изменении параметра назначения  $+/-\Delta\Pi$  от оптимального. Обычно считают, что примерно равноценные значения параметра лежат в зоне, которая отвечает значению целевой функции  $\Phi = \Phi_0 + (0,05...0,1)\Phi_0$ .



а)

Рисунок 11.2.1.а – Унимодальная целевая функция



**Рисунок 11.2.1. б, в, г – Варианты (виды) инимодальных целевых функций: 1- $\Phi_1$ ; 2- $\Phi_2$ ; 3- $\Phi_1 + \Phi_2$**

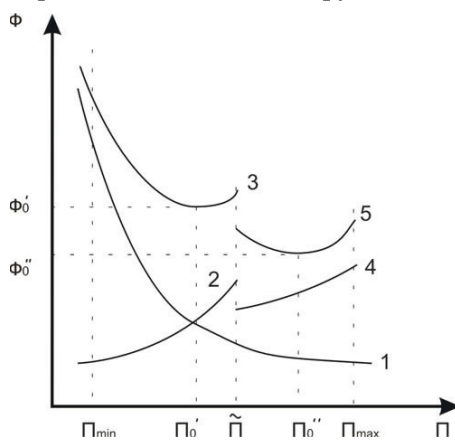
На рисунке 12.2.1.г экстремум целевой функции лежит вне промежутка ( $\Pi_{\min}$ ,  $\Pi_{\max}$ ). Поэтому найденное оптимальное значение параметра  $\Pi_0$  не может быть принято. Искомое значение  $\Pi$  в этом случае лежит на границе интервала и равно  $\Pi_{\max}$ .

Обычно целевая функция бывает унимодальной, т.е. имеет один экстремум (рисунок 12.1 б, в, г), но не исключено наличие нескольких экстремальных значений (рисунок 12.2). Это может иметь место в тех случаях, когда параметр изменяется не только количественно, но и качественно.

Пусть, например, целевая функция  $\Phi$  отвечает стоимости газораспределительной сети низкого давления;  $\Phi_1$  – стоимость газопро-

водов низкого давления;  $\Phi_2$  – стоимость газораспределительных потребителей (ГРП), причем левая часть ее ( $\Pi \leq \tilde{\Pi}$ ) отвечает стоимости отдельно стоящих ГРП (повилвоиноного типа), а правая ( $\Pi > \tilde{\Pi}$ ) – шкафных ГРУ–ШП.

При этом  $\Pi$  возможен разрыв функции  $\Phi$  и  $\Phi_2$ . Поскольку в практических расчетах замена типа ГРП осуществляется сознательно, то наличие экстремумов в правой и левой части целевой функции при выборе варианта не вызывает затруднений.



**Рисунок 11.2.2 – Двухмодульная целевая функция:**

1 –  $\Phi_1$ ; 2 –  $\Phi_2$ ; 3 –  $\Phi' = \Phi_1 + \Phi_2'$ ; 4 –  $\Phi_2''$ ; 5 –  $\Phi'' = \Phi_1 + \Phi_2''$



## **12. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Расчеты и проектирование различных АСУ распределения и дозирования жидких и газообразных сред на объектах АПК направлены на обеспечение минимальной стоимости и металлоемкости этих систем при выполнении ими заданной производственной программы (например, транспорт определенного количества газа с необходимым давлением в контрольных точках).

Исходный минимум обеспечивается выбором оптимального значения ряда параметров системы, в качестве которых могут выступать количество ГРП, газораспределительных сетей (ГРС), ступеней давления, перепады давления газа на участках сети и др.

Рассмотрим некоторые наиболее распространенные методы определения оптимальных параметров распределительных систем, используемых как в промышленности, так и в с.-х. производстве.

### **12.1. Статистический метод**

Этот метод является результатом анализа многочисленного проектного материала по газификации городов и сельских поселков, на основании которого была сделана попытка установить зависимость между основными технико-экономическими показателями систем газоснабжения и некоторым градообразующим фактом, которым является удельная нагрузка в газопроводах низкого давления  $q_{уд}$ , а оптимальная металлоемкость сети, ее стоимость, радиус дей-

ствия ГРП и др. показатели практически однозначно отвечают каждому значению  $q_{уд}$ .

Искомая закономерность устанавливалась путем нанесения на график данных десятков проектов газоснабжения, выполненных организациями г. Москвы и Московской области (рисунок 12.1.1.).

При этом было принято, что оптимальному значению параметра отвечает его математическое ожидание для каждого значения  $q_{уд}$ , поскольку это ожидание отражает коллективный опыт ведущих организаций и специалистов.

Точки, лежащие выше полученной кривой, объяснялись обычно спецификой объектов АПК (местные условия и др.), а лежащие ниже кривой – непроверенными проектными решениями, требующими дополнительной апробации.

Статистический метод позволил определить ориентировочные значения искомого параметра, более или менее близкие к оптимальному, без предварительного проведения гидравлических и технико-экономических проработок.

Однако, этому методу присущ ряд недостатков. Так, например, было принято, что любой технико-экономический показатель системы зависит лишь от одной переменной  $q_{уд}$ . Между тем, если идет речь об оптимальном числе ГРП и отвечающем ему расходе газа одного ГРП, то они зависят не только от значения  $q_{уд}$ , но и от стоимости ГРП, перепада давления в сети и т. д.

Следовательно, полученные закономерности не отражают всех технико-экономических связей между элементами системы, чем и объясняется большой разброс точек на приведенном графике.

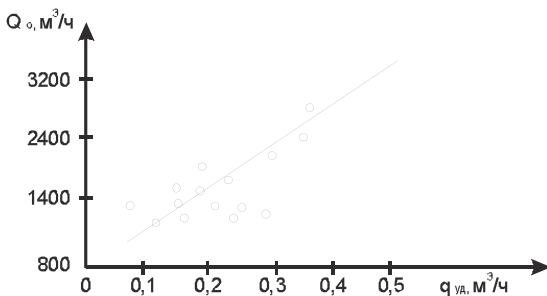


Рисунок 12.1.1 – Зависимость оптимальной нагрузки на ГРП  $Q_0$  от  $q_{уд}$

Статистический метод в настоящее время может быть применен для ориентировочной оценки некоторых проектных решений. Например, если принятая нагрузка на ГРП при  $q_{уд} = 0,3 \text{ м}^3/(\text{м.ч.})$  равна  $2400 \text{ м}^3/\text{ч}$  (при нормальных условиях) то можно предположить, что сеть запроектирована достаточно экономично. При этом в данном методе целевая функция не составляется.

## 12.2. Метод вариантных расчетов

Этот метод заключается в том, что для определения оптимального значения некоторого параметра проводят ряд расчетов системы, принимая каждый раз новое значение искомого параметра и сохраняя неизменными все прочие компоненты системы.

Преимущества данного метода является конкретность, то есть точный учет всех особенностей проектируемого объекта и вытекающая отсюда достоверность полученного результата. Однако, главные его недостатки, ограничивающие область применения, – громоздкость и трудоемкость.

Как правило, вариантный метод позволяет определить лишь тенденцию изменения искомого параметра, т. е. найти интервал, своеобразную вилку, в котором лежит его оптимальное значение. Если целевая функция  $\Phi = \Phi(x)$  непрерывна или с достаточной степенью точности интерпретируется таковой в интересующих нас точках и  $x_1 < x_2 < x_3$ , в то время как  $\Phi_1 > \Phi_2$  и  $\Phi_3 > \Phi_2$  (где  $x_1, x_2, x_3$  – принятые значения управляющей переменной, а  $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3$  – отвечающие им значения целевой функции), то можно утверждать, что искомое значение параметра лежит в интервале  $(x_1, x_3)$ .

В ряде случаев такое решение удовлетворяет практические надобности. Например, при определении оптимального числа ГРП, если оно колеблется незначительно.

Пусть количеству ГРП ( $x = 1,4,5,8,12$ ) отвечает стоимость сооружения газораспределительной сети (ГРП, подводы к ним и газопроводы низкого давления)  $\Phi = 499, 475, 473, 500, 564$  тыс. руб. Отсюда можно заключить, что оптимальное число ГРП  $4 < x_0 < 8$ . Большой точности при том же количестве рассчитанных вариантов метод не обеспечивает.

Что касается определения оптимального значения параметра, который изменяется непрерывно (например, оптимальный перепад

давления на участок сети), то здесь метод вариантных расчетов не применим.

### 12.3. Аналитический метод

Этот метод получил широкое распространение потому, что идея оптимизации четко интерпретируется аналитически.

Если оптимизируемая целевая функция  $\Phi = \Phi(x_1, x_2, \dots, x_n)$  обладает непрерывными производными своими аргументами, то полагив равными нулю частные производные и решив  $n$  уравнений

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \Phi = 0; \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (12.3.1.)$$

найдем значения  $x_i$ , отвечающие  $\Phi = \min(\max)$ .

Если  $\frac{\partial^2}{\partial x_i^2} \Phi > 0$ , то  $\Phi = \min$ , то есть применительно к газораспределительным системам решается задача о распределении определенного количества газа или об обеспечении требуемого уровня надежности и т. д. за счет минимальных материальных или денежных средств.

Если  $\frac{\partial^2}{\partial x_i^2} \Phi < 0$ , то  $\Phi = \max$ , т. е. решается задача о распределении максимального количества газа или об обеспечении максимально возможного уровня надежности за счет определенных денежных материальных или денежных средств.

Поэтому целевой функции  $\Phi$  в первом случае отвечает металлоемкость или стоимость, а во втором – годовой или часовой расход газа, надежность и т. д.

При этом управляющими переменными могут быть:

- расход газа по участкам сети  $Q_i$ ;
- перепад давления на этих участках  $\Delta H_i$ ;
- длина  $l_i$  и диаметр  $D_i$  участка газопровода; и др.

Одни из них являются непрерывно изменяющимися величинами ( $Q_i, \Delta H_i, l_i$ ), другие – дискретными ( $D_i$ ), определяемые наличным сортаментом труб.

Обычно для трубопроводов заменяют дискретную функцию непрерывной, округляя затем полученные результаты до ближайших табличных значений. Отклонения от оптимальных значений, полученные при этом, незначительны в связи с пологим характером целевой функции в области экстремума, а также тем, что шаг изменения дискретного параметра обычно сравнительно невелик.

Для оптимизации систем на объектах АПК часто используют метод неопределенных множителей Лагранжа.

Пусть требуется найти минимум функции  $n$  переменных  $x_1, x_2, \dots, x_n$ :

$$\Phi(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \quad (12.3.2.)$$

Для этого составляются вспомогательная функция Лагранжа:

$$F = \Phi + \lambda_1 D_1 + \lambda_2 D_2 + \dots + \lambda_j D_j + \dots + \lambda_m D_m, \quad (12.3.3.)$$

где  $\lambda_j$  – неопределенные множители Лагранжа;  $D_j$  – функции, выражающие ограничивающие условия.

Далее решается система  $n + m$  уравнений

$$\partial F / \partial x_i = 0; \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad (12.3.4.)$$

$$\partial_j(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0; \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (12.3.5.)$$

относительно неизвестных  $x$  и  $\lambda$ . Найденная совокупность значений  $x_1, x_2, \dots, x_n$  определяет искомый экстремум функции  $\Phi$ .

Физический смысл, вкладываемый в символы  $\Phi$ ,  $x$  и  $d$ , определяется условием поставленной задачи. Например, если нужно найти оптимальное распределение перепада давления по участкам сети, то  $\Phi$  – стоимость или металлоемкость этой сети,  $x_i$  – искомое значение перепада давления на  $i$ -м участке, а  $d_j$  – функция, выражающая условие непревышения допустимых потерь давления по всем направлениям и баланса потерь давления в каждом кольце.

Достоинствами аналитического метода оптимизации являются:

- высокая достоверность полученных результатов;
- возможность учета большого числа факторов, влияющих на показатели системы;
- возможность получения общих решений с последующей обработкой для частных случаев (с составлением таблиц, графиков, номограмм и т. д.);

- связанная с этими тремя пунктами эффективность применения в практическом проектировании

Рассмотренный метод, в зависимости от поставленной задачи, применяется при оптимизации как реальных, так и условных (гипотетических газораспределительных сетей).

## 12.4. Методы линейного программирования

Эти методы применяются для решения широкого круга задач по оптимизации систем.

Они особенно эффективны в тех случаях, когда применение методов дифференциального исчисления почему-либо непригодно (условия резкодискретных функций, требования целочисленных решений, система ограничений задается неравенствами и т.д.)

Основная идея метода – найти такие значения переменных  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , которые доставляют минимум или максимум выражению:

$$\sum_{i=1}^n a_i x_i \quad (12.4.1)$$

при заданной системе ограничений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n B_{1j} x_j \leq C_1; \\ \sum_{j=1}^n B_{2j} x_j \leq C_2; \\ \dots\dots\dots \\ \sum_{j=1}^n B_{mj} x_j \leq C_m. \end{array} \right. \quad (12.4.2)$$

Методы линейного программирования обеспечивают высокую надежность результатов, но для их реализации, как правило, необходимо использование ЭВМ.

Если целевую функцию представить в виде линейной зависимости от управляющих переменных невозможно, то отыскание оптимальных решений проводится методами нелинейного программирования.

Методы линейного и нелинейного программирования для оптимизации систем распределения и дозирования применяются довольно редко.

Однако, метод линейного программирования может найти широкое применение при решении некоторых задач по оптимизации вышеуказанных технологических процессов с.-х. производства с помощью, например, теории игр и теории массового обслуживания.

## **12.5. Применение ЭВМ**

В последнее время для гидравлических расчетов и выбора оптимальных параметров распределительных и дозирующих устройств применяются моделирование этих технологических процессов и расчеты указанных систем с помощью электронно-вычислительной техники.

Это позволяет, например, успешно решать общие (проектирование новых или реконструкция существующих сетей) и частные (увеличение пропускной способности участка, прокладка дополнительных газопроводов) проектные задачи, а также ряд проблем, связанные с эксплуатацией газовых хозяйств.

Применение аналоговых устройств и ЭВМ приводит к большой экономии времени, затрачиваемого на выполнение проектных работ, а также позволяет обеспечить снижение металлоемкости газопроводов до 10...20 % по сравнению с результатами расчетов, проводимых вручную. Применение ЭВМ является обязательным условием осуществления АСУ ТП газоснабжения городов и сельских поселков.

ЭВМ широко используются как в проектных работах, так и для управления системой в процессе эксплуатации, анализа ее эффективности, моделирования аварий и разработки оптимальных планов мероприятий по их устранению, а также в других целях.

Оптимизация при помощи ЭВМ не содержит каких-либо принципиально новых положений по сравнению с рассмотренными выше. Обычно дело сводится к методу вариантных расчетов; при этом число вариантов благодаря возможностям современной вычислительной техники (ВТ) может быть практически сколь угодно большим.

В связи с широким развитием и внедрением ВТ и ее высокой эффективностью иногда ставится под сомнение целесообразность и актуальность разработки методов оптимизации газораспределительных систем, особенно при расчетах вручную.

Однако, каждый из этих методов имеет свою область применения. Аналитический метод эффективен, в первую очередь, для получения решений в общей форме. ЭВМ незаменимы для решения конкретных задач обеспечения минимальной металлоемкости или стоимости систем газоснабжения данного города или района, но и в этом случае возможности аналитического метода далеко не исчерпаны, т. к. он пригоден не только для расчетов вручную, но при составлении программ и алгоритмов для ЭВМ.

Решение, полученное аналитически, может быть введено в машину в качестве математического ожидания, корректировка которого производится далее методом вариантных расчетов. При этом машинное время на расчеты систем существенно сокращается, т. к. уменьшается количество рассматриваемых вариантов.

Аналитические методы оптимизирующих расчетов позволяют получить не только достаточно надежный результат, но и наглядно показывают физическую сущность процесса оптимизации, связь между отдельными параметрами системы, определяющими в совокупности ее оптимум.

Кроме того, при проектировании небольших объектов АПК расчеты вручную с использованием аналитических методов оптимизации дают результаты, практически не отличающиеся от полученных на ЭВМ. Между тем, выполнение расчетов вручную в данном случае проще и организационно.



### **13. КОНЦЕПЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РФ**

Здоровье и благополучие нынешних и будущих поколений является главной ценностью, которую невозможно сохранить без обеспечения экологической безопасности.

В этой связи, необходимость создания концепции экологической безопасности РФ назрела давно из-за обострения экологической ситуации и наметившимся разрывом между социально-экономическим развитием и ведомственным подходом к природопользованию и природоохранным мероприятиям.

Концепция основывается на современных взглядах о неизбежности экологического кризиса, если активно не воспрепятствовать его возникновению и развитию. Рост экологической опасности является закономерным следствием масштабных изменений, которые охватили всю планету и развиваются в направлении ухудшения условий существования людей и других организмов.

При этом любая хозяйственная деятельность должна рассматриваться как несущая в себе потенциальную экологическую опасность, которую необходимо предвидеть и своевременно предотвратить. Мировое сообщество определяет, что борьба против экологического кризиса и нарастания экологической опасности должна осуществляться на глобальном, национальном, местном и локальном (объектовом) уровнях.

Реально такая работа уже активно проводится на всех уровнях. Однако она недостаточно скоординирована и практически не имеет единой концепции, устраивающей наше общество.

### 13.1. Виды подходов обеспечения экологической безопасности

В настоящее время господствуют три основных подхода обеспечения экологической безопасности:

- технический;
- экосистемный;
- природных катастроф.

*Первый подход* базируется на теории техногенного риска и утверждает, что обеспечение экологической безопасности может быть обеспечено чисто технологическими средствами на основе новых технологий без ограничения объемов использования природных ресурсов, экономического развития и роста населения. Этот подход нацелен на исключение локальных случаев нарушения состояния ОС путем локальных очисток и сбросов, выбросов, отходов и др. и их минимизации, нормирования ресурсосберегающих технологий.

*Второй подход* – экосистемный – основан на теории биотической регуляции и рассматривает проблемы устойчивости экосистем в зависимости от степени антропогенного воздействия на них с учетом природно-ресурсного потенциала.

Если степень антропогенного воздействия ниже так называемого «порогового», то природа способна к самовосстановлению и самовоспроизводству, а если нет – то природа деградирует и ее ресурсы истощаются. Поэтому в качестве главной задачи ставится сохранение естественных саморегулирующих экосистем.

*Третий подход* – теория природных катастроф рассматривает прогностические угрозы, возникающие в результате таких природных процессов, как ураганы, смерчи, наводнения, оползни, обвалы, эрозия и др.

При этом теория и практика показывают, что на глобальном уровне доминирует экосистемный подход, а на локальном и местном уровнях – техногенный. На региональном уровне необходимо сочетание всех трех подходов.

Угроза экологической опасности возникает в каждой стране, регионе, местности в зависимости от природных условий, экономической и социальной ситуации.

Поэтому не только для России, но и для каждого ее региона (субъекта РФ) необходима своя индивидуальная концепция экологической безопасности, основанная на анализе существующей экологической обстановки, ее прогнозировании и выделении наиболее угрожающих источников экологической опасности.

### **13.2. Цели и задачи экологической безопасности**

Экологическая безопасность определяет состояние запущенности жизненно важных интересов личности, государства и природы от угроз, возникающих в результате антропогенных и природных воздействий на ОС, в том числе от угроз, возникающих в результате антропогенных и природных воздействий на ОС, причем и обусловленных бедствиями, авариями и катастрофами, включая стихийные.

В связи с этим, целью обеспечения экологической безопасности является формирование системы взглядов на решение одного из главных элементов устойчивого развития региона при осуществлении всех видов деятельности. Здоровье и благополучие нынешнего и будущего поколений является главной ценностью, которую сохранить без обеспечения экологической безопасности невозможно.

Поэтому необходимость создания концепции экологической безопасности РФ назрела давно в связи с обострением экологической ситуации и наметившимся разрывом между социально-экономическим развитием и ведомственным подходом к природопользованию и природоохранным мероприятиям.

Концепция основывается на современных взглядах о неизбежности экологического кризиса, если активно не воспрепятствовать его возникновению и развитию. Рост экологической опасности является закономерным следствием масштабных изменений, которые охватили всю планету и развиваются в направлении ухудшения условий существования людей и других организмов.

При этом любая хозяйственная деятельность рассматривается как несущая в себе потенциальную экологическую опасность, которую необходимо предвидеть и своевременно предотвращать.

## **14. МАСШТАБ И КОМПЛЕКСНОСТЬ ЗАДАЧИ В РАМКАХ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Одной из задач Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) является осуществление целевых и научно-технических программ, направленных на предупреждение ЧС природного и техногенного характера как на государственном, так и на территориальном уровне.

При разработке таких программ необходимо, в первую очередь, обладать информацией о размерах развития ЧС. Для этого необходимо создание и развитие математических моделей, которые воспроизводили бы основные катастрофические процессы, их реакцию на изменение внешних условий, а также на различные виды человеческого вмешательства.

Они должны позволить с достаточной точностью моделировать функционирование реальных систем и оперативно использовать вновь поступающую информацию об обстановке.

### **14.1. Задачи по обеспечению безопасности жизнедеятельности человека и охране ОС**

Приводим основные из поставленных задач по данному вопросу:

- разработка математических, имитационных, физических и факторных моделей, оценивающих медико-экологическую ситуацию обеспечения безопасности населения;

- апробация методических подходов к оценке эколого-технологической и экономической обстановки на объектах промышленности и сельского хозяйства;

- проведение экспериментальных исследований АСУ, работающих в условиях риска возникновения аварий, катастроф и ЧС;

- разработка модели гармонизации разнородных и противоречивых духовных, социальных и физических процессов с использованием единого языка пространственно-временных величин;

- проведение интегральной оценки качества жизни и устойчивого развития в регионах РФ и за рубежом.

В рамках научно-методического обеспечения экологической безопасности предусматривается:

- совершенствование существующих и создание новых методов очистки сточных вод и отходящих газов, методов и средств удаления, переработки и размещения отходов производства и потребления;

- оптимизация управления экологической безопасностью, в том числе разработка методов управления экологическим риском на объектовом, территориальном и региональном уровнях;

- разработка многокритериальной системы ограничений технического риска;

- разработка методик расчетов экологического риска (природного, техногенного, социального) для организации экологического страхования;

- разработка типовых методик расчетов ущерба от наиболее распространенных экологических правонарушений для предъявления рисков;

- разработка методик расследования типовых правонарушений;

- совершенствование методов и технических средств оценки качества окружающей среды;

- разработка оптимальных методов экологической реабилитации территорий с критической экологической ситуацией.

## **14.2. Задачи, исходящие от решения проблемы устойчивого развития и экологической безопасности**

В рамках концепций «устойчивого развития» и «экологической безопасности» существует реальная необходимость в решении следующих задач:

- создание методологических основ и практических подходов, направленных на снижение техногенного воздействия космических объектов на ОС;
- разработка методологии анализа и управления эколого-технологическими процессами системы «трактор – машина – технология – почва»;
- информационное моделирование принятия решений в инновационных технологиях как потенциальный источник риска;
- формализованное описание задач мониторинга и оценки новаций в проектировании регионального устойчивого развития;
- разработка методов и программно-технических средств для практической реализации системы контроля влажности и температуры воздуха в теплице при наличии прогнозируемых помех.

## **14.3. Задачи, решаемые с помощью исследования технологических процессов и систем управления на объектах производства**

Ниже приводятся примеры реализации вышеуказанных задач:

- разработка методики комплексной оценки риска аварийных ситуаций на объектах АПК, базирующихся на анализе статистических данных об интенсивности отказов оборудования на этих объектах;
- дать оценку зонам экологического неблагополучия с учетом информации о статистических характеристиках возмущающих воздействий и динамических параметров управляемых объектов;
- исследование автоматизированной агроэкологической системы «человек – окружающая среда» и ее влияние на производственные комплексы и их компоненты, представленной в виде СМО;
- разработка рекомендаций по минимизации негативного воздействия техногенных нагрузок на ОС, с использованием математи-

ческого моделирования АСУ;

- обоснование и разработка с помощью информационного моделирования основных параметров и характеристик эколого-технологической системы «вход – процесс – выход»;

- разработка методики повышения качества эколого-технологических процессов путем моделирования АСУ, обеспечивающей ее безопасность в условиях техногенных нагрузок.

Примерами разнообразия и многофакторности эколого-технологических процессов могут служить:

- определение структуры риска при принятии технического решения и методики вероятного материального ущерба от аварийных отказов технических средств АПК;

- обоснование технологии и разработка устройства для электроактивации водных растворов и апробации их в с.-х. производстве;

- управление технологическими процессами с.-х. производства с учетом риска возникновения ЧС;

- разработка метода комплексной оценки экологического состояния почвы и открытых водных систем и риска возникновения ЧС, базирующейся на использовании данных агроэкологического мониторинга;

- обоснование основных эколого-технологических параметров и управление источниками геофизических полей для анализа экологического состояния земель;

- разработка методологии и технологии моделирования природно-технических комплексов для повышения устойчивости и эффективности процессов с.-х. производства на основе принципа взаимодействия составляющих производственной деятельности и природной среды;

- создание системы представлений, принципов и концептуальных моделей, позволяющих формировать комплексы различного вида и назначения с применением нетрадиционных технических средств.

## **15. РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕСУРСОВ И ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Научно-технический прогресс (НТП) наряду с его огромными достижениями на современном этапе развития человечества непрерывно требует интенсивного использования природных ресурсов, необходимых для производства товаров потребления и продуктов питания.

Это существенно усложняет взаимоотношения человека с окружающей природной средой (ОПС), оказывая техногенное воздействие на ее различные составляющие и нарушая равновесие в естественных круговоротах.

В связи с этим, проблемы рационального использования ресурсов и защиты ОС становятся чрезвычайно актуальными и находят свое отражение в основополагающих документах международного и государственного уровня.

При этом создание природно-технических комплексов (ПТК), повышающих эффективность процессов производства с.-х. продукции является одним из перспективных направлений деятельности, способствующим разрешению вышеназванного противоречия.

### **15.1. Природно-технические комплексы процессов сельскохозяйственного производства**

Основными направлениями исследований по данной проблеме являются:

- создание принципиально новых экологически чистых и без-



опасных технологий и оборудования;

- разработка средств и методов защиты ОС;
- повышение эффективности традиционных производственных процессов, и др.

Решение данной проблемы базируется на достижениях отечественных и зарубежных ученых, таких как: В. И. Вернадского, Н. Ф. Реймерса, Н. Н. Моисеева, В. Г. Горшкова, К. Я. Кондратьева, В. И. Данилова-Данильяна, Б. Б. Нирмакова, А. П. Исаева, Н. И. Дружинина, И. П. Айдарова, А. И. Голованова, Л. М. Рекса, Ф. Ю. Гельцер, М. Тун, В. Сториз и др. – в области мелиорации, экологии и природопользования.

При этом основополагающей методологией и принципами для изучения данной проблемы и решения поставленных задач являются принципы устойчивого развития процессов жизнедеятельности.

В этой связи, под устойчивым развитием следует понимать достижение равновесного состояния всех составляющих комплекса:

- природных;
- технических;
- производственных.

## **15.2. Оценка устойчивости развития процессов жизнедеятельности**

Критерием оценки устойчивости служит соответствие ресурса и потребности во всех видах их проявления:

- материальном;
- техническом;
- информационном;
- финансовом, и т. п.

Такая постановка вопроса требует системного рассмотрения проблемы и моделирования комплексов на основе современных информационных технологий.

Поставленная проблема может быть решена при условии разработки методологии ПТК для повышения устойчивости и эффективности процессов с.-х. производства на основе принципа взаимодействия составляющих производственной деятельности и природной среды.

При этом необходимо создание системы представлений, принципов и концептуальных моделей, позволяющих формировать ПТК различного вида и назначения с применением нетрадиционных технологических средств, регулирующих и ретранслирующих солнечную энергию на Землю.

Для решения вышеуказанной проблемы необходимо решение следующих задач:

- разработка теории моделирования ПТК, включающих природные, технические и производственные составляющие;
- разработка принципов, процедур, структуризация и параметрическое описание составляющих ПТК экосистемы, процессов производства с.-х. продукции и моделирование процесса их взаимодействия;
- разработка системных требований, блок-схем и инструментального обеспечения процесса проектирования, конструирования и технической реализации нетрадиционных средств регулирования и ретрансляции солнечной энергии на Землю;
- создание технических модулей и установление функциональных взаимосвязей в ПТК на основе крупногабаритных технических систем;
- разработка методических принципов и технологии оценки ПТК в различных условиях природной среды.

Для решения поставленных задач необходимо использование методов системного анализа, теории систем, методов теории вероятностей и математической статистики, аналитической механики, математического, физического и информационного моделирования, прогнозирования, прямого и опосредованного эксперимента.

## **16. ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ЗЕМЕЛЬНОГО ФОНДА РФ**

Современное экологическое состояние с.-х. земельного фонда России можно оценить как критическое, которое обусловлено усилением процессов деградации почв. Это представляет реальную угрозу продовольственной, а значит и национальной безопасности страны.

Деградация почв является прямым результатом деструктивной трансформации ландшафта, изменения направленности и интенсивности потоков веществ и энергии в процессе замещения природных фитоценозов агроценозами. При деградации ландшафта происходит разрушение его структуры, снижается или утрачивается способность к самовосстановлению и производству ресурсов.

При этом прогрессирующее развитие процессов деградации агроландшафтов приводит к нарушению естественных биологических циклов, снижению плодородия, загрязнению почв и с.-х. продукции токсичными веществами.

Научными исследованиями в этой области занимаются такие ученые, как: Г. А. Раманенко, И. П. Айдаров, А. И. Голованов, Н. В. Комов, В. И. Кирюшин, А. П. Щербаков, В. М. Володин.

Установлено, что антропогенная деятельность является одним из самых мощных факторов, влияющих на экологическое состояние агроландшафтов. При этом почвенный покров с.-х. угодий РФ к настоящему времени практически весь трансформирован и подвержен различным видам деградации.

В настоящее время большинство ученых и специалистов-практиков приходит к выводу, что развитие с.-х. производств не

должно идти в направлении «покорения» природы, а базироваться на принципах и законах ее строения и функционирования.

Следует отметить, что практика «революционных наскоков» на природу постепенно уступает место действиям, предполагающим эволюционное управление технологическим процессом (ТП) с.-х. производства на уровне агроландшафта с учетом особенностей систем земледелия (И. П. Айдаров, А. А. Жученко, В. А. Ковда, И. В. Усков, Б. Б. Шумаков).

В этой связи, управление ТП производства необходимо строить на принципах адаптивно-ландшафтного земледелия с учетом складывающейся экологической ситуации, не допуская возникновения необратимых негативных процессов.

## **17. НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЯМИ РАСТЕНИЕВОДСТВА**

Актуальность исследования в области создания принципиально новых информационных систем управления технологиями растениеводства, ориентированных не только на получение заданных объемов продукции, но и на сохранение и повышение плодородия почв, поддержание благоприятного состояния агроландшафта, обусловлена жесткими экологическими требованиями и экономическими ограничениями, предъявляемыми к современному с.-х. производству.

Поэтому целью исследований в данном направлении является разработка принципиальной схемы управления технологиями выращивания с.-х. культур и создание информационных инструментальных средств, позволяющих учитывать экологическое состояние составляющих агроландшафта, особенности агротехнологий и природных процессов, для выработки адекватных управляющих воздействий, не допускающих развития деградации почв и возникновения ЧС.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

- выявление причин деградации почвенного покрова и условий возникновения чрезвычайных экологических ситуаций в процессе с.-х. производства;
- анализ существующих систем управления агротехнологиями и постановка задачи управления процессами производства продук-

ции растениеводства на основе использования современных информационных технологий и инструментальных средств;

- постановка экспериментальных исследований и оценка влияния антропогенной нагрузки на процессы водного и солевого обмена в системе «почва – растение – атмосфера» при выращивании многолетних трав в условиях орошения;

- изучение и анализ модели почвенного плодородия и имитационной модели агроценоза, модификация водного блока модели агроценоза по результатам натурных исследований;

- разработка принципов комплексной оценки экологического состояния агроландшафта для идентификации условий возникновения ЧС;

- разработка структурной схемы управления ТП производства продукции растениеводства при орошении с учетом экологического состояния агроландшафта, величины антропогенной нагрузки и результатов прогноза условий возникновения ЧС;

- создание принципиальной схемы реализации информационной технологии управления процессом выращивания с.-х. культур с использованием оптимизационной задачи, имитационной и статистической модели и данных агроэкологического мониторинга.

## **18. ПРИНЦИПЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Принципы совершенствования производственно-экологической безопасности базируются на единой энергоэнтропийной концепции и классификации объективно существующих опасностей, а также на закономерностях возникновения и предупреждения техногенных происшествий.

При этом безопасность интерпретируется как свойство систем «человек – машина – среда» сохранять при функционировании в заданных условиях такое состояние, при котором с достаточно высокой вероятностью исключается возникновение происшествий. Функциональная среда этой системы – характерная универсальная совокупность алгоритма и параметров, по которым осуществляется как взаимодействие между элементами системы, так и функционирование системы в целом.

Важнейшим компонентом в общей концепции безопасности населения является состояние его здоровья. Это самый сложный комплекс количественно-качественных характеристик населения в целом и отдельных его слоев, связь которых с факторами ОС изучается и статистически выявляется с помощью множества показателей, величин, критериев, уровней, измерителей, индикаторов и др.

Поэтому необходимо проведение следующих работ:

- исследование проблемы обеспечения экологической, экономической, социальной и продовольственной безопасности;
- разработка математических, имитационных, физических и

факторных моделей, оценивающих медико-экологическую ситуацию жизнеобеспечения населения;

- апробация методических подходов к оценке эколого-технологической обстановки на объектах промышленного и с.-х. производства;

- проведение экспериментальных исследований АСУ, работающих в условиях возможного возникновения ЧС;

- исследование физико-химических характеристик торфов Ногинского района Московской области;

- получение и представление результатов экспериментального исследования процесса сушки торфов м на их основе термокинетические параметры в модифицированном выражении закона Герца-Кнудсена.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Под экологизацией производства понимается максимально возможное употребление производственных процессов в целом и ресурсных циклов в частности природным круговоротам веществ в биосфере, либо это любые мероприятия, снижающие опасность производства для природы и человека.

При этом рекомендации рационального природопользования позволяют сочетать получение высокого урожая на полях и высокий выход животноводческой продукции с сохранением плодородия почв и продуктивности сенокосов и пастбищ.

В правильно организованном хозяйстве или АПК производят экологически чистые продукты и не загрязняют атмосферу и воду. В результате агроэкология помогает сохранять не только природу, но и здоровье человека.

В учебном пособии освещается основной круг вопросов и проблем, отражающих совершенствование ТП и автоматизированное управление различными системами с.-х. производства, используемыми на объектах АПК в различных условиях испытаний. При этом обращено особое внимание на то, что в условиях становления рыночных отношений идет интенсивный переход от аграрно-индивидуального общества к информационному.

В этой связи, студентам и специалистам промышленного и с.-х. производства будет полезным ознакомиться с такими разделами данной книги, как оценка опасностей возникновения аварий и катастроф в ЧС; определение риска аварий на объектах АПК; выявление оптимальной периодичности и объемов ремонтно-эксплуатационных работ на объектах; механизация и автоматизация гидравлических устройств, работающих в условиях воздействия на них техногенных нагрузок; экологическая оптимизация промышленного природопользования; совершенствование технического сервиса на объектах АПК; математическое моделирование деятельности человека-оператора; основные методы оптимизации систем с.-х. производства, и др.

Приведенные выше разделы являются одним из возможных вариантов приобщения студентов к изучению ряда конкретных дисциплин в рамках данного вуза или среднего специального учебного заведения.

Все это позволяет использовать специалистами тот громадный потенциал научных и практических разработок, достижений в области механизации и автоматизации с.-х. производства, который был накоплен ранее и будет иметь свое развитие в будущем.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Карапетян М. А., Пряхин В. Н.** Совершенствование технологий и управление технологическими процессами с.-х. производства: Учебное пособие. М. : Компания Спутник +, 2005. 162 с.
2. **Пряхин В. Н., Попов В. Я.** Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях: Учеб. пособие. М. : Норма, 2002. 344 с.
3. **Пряхин В. Н., Иванов Б. В., Ткачев Г. А.** Моделирование с конечным числом заявок // Естественные и технические науки. 2003. № 6. С. 165–169.
4. **Пряхин В. Н., Зилонов М. О., Большаков Н. А.** Исследование и разработка систем массового обслуживания для объектов АПК // Материалы Междунар. конфер. «Проблемы экологии и БЖД». М. : Норма, 2003, Вып. 4. С. 126–128.
5. **Иванов Б. В., Большаков Н. А., Зилонов М. О., Пряхин В. Н., Жуйков Ю. Ф.** Системная концепция организации управления уровнем развития и совершенствования продукции на объектах АПК // Аспирант и соискатель. 2003. № 5. С. 216–219.
6. **Пряхин В. Н., Черненко Л. П., Большаков Н. А.** К вопросу о прогнозировании аварий и катастроф на объектах промышленного и с.-х. производства: Материалы Междунар. н.-п. конференции «Проблемы экологии и БЖД». М. : Норма, 2002. № 3. С. 212–214.
7. **Большаков Н. А., Зилонов М. О., Пряхин В. Н.** Вероятностное прогнозирование в условиях с.-х. производства // Аспирант и соискатель. 2003. № 5. С. 213–215.
8. **Шиканов Е. А., Жуйков Ю. Ф., Пряхин В. Н.** Использование нейтронных генераторов для контроля повышения нефтеотдачи скважин при ультразвуковом воздействии // Атомная энергия. 2004. Т. 97, Вып. 3. С. 222–224.
9. **Шиканов Е. А., Пряхин В. Н., Жуйков Ю. Ф., Темирсултанов Э. Э.** Применение акустических технологий // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2008. № 7. С. 48–49.
10. **Шиканов Е. А., Атаманов В. В., Пряхин В. Н.** Автоматизированный контроль состояния трубопроводов в производственной сельхоззоне // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 2008. № 6. С. 41–42.

11. **Карапетян М. А., Пряхин В. Н.** Управление движителями транспортно-технологических систем // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 2005. № 10. С. 22–23.

12. **Пряхин В. Н., Карапетян М. А., Субботин В. Е.** Оценка влияния и управления движителями МТА при исследовании объектов АПК // Вестник МОАЭБП. 2008. Вып. 3(10). С. 101–105.

13. **Пряхин В. Н., Соловьев С. С.** Безопасность жизнедеятельности в природообустройстве: Курс лекций и комплект тестовых заданий для студентов вузов: Учеб. пособие. 3-е изд., перераб. и доп. СПб. : Лань, 2009. 352 с.

14. **Мочунова Н. А., Пряхин В. Н., Бухаровская А. Н.** Показатели своевременного действия оператора в системе «человек – машина» // Международный научный журнал. 2010. № 5. С. 69–72.

15. **Пряхин В. Н., Соколов В. В., Шамаева Е. Ф.** Моделирование систем со случайными параметрами применительно к объектам агропромышленного комплекса // Международный технико-экономический журнал. 2011. № 1. С. 78–78.

16. Пат. 2409785 Российская Федерация МПК F 16 K 11/072(2006.01) Устройство для распределения жидкостной или газовой среды по независимым объектам потребления / Пряхин В. Н., Соколов В. В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО МГУП. № 2009126294/06 ; заявл. 10.07.2009 ; опубл. 20.01.2011. Бюл. № 2.

17. **Пряхин В. Н., Карапетян М. А.** Управление движителями транспортно-технологических машин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2015. № 10. С. 22–23.

18. **Пряхин В. Н., Карапетян М. А., Ильев Д. Б.** Применение имитационного моделирования при решении народнохозяйственных задач // Вестник МОАЭБП. 2012. Вып. 12(19). С. 36–42.

19. Пат. 139900 Российская Федерация МПК F 16 K 11/072 (2006.01). Устройство для распределения жидкостной или газовой среды по независимым объектам потребления / Пряхин В. Н., Пчёлкин В. В., Максимов В. М., Лазаренко М. Л.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО МГУП. № 2013144979/02 ; заявл. 09.10.2013 ; опубл. 27.04.2014, Бюл. № 12.

20. **Пряхин В. Н., Карапетян М. А.** Механизация и автоматизация с.-х. производства: Учеб. пособие. М. : ФГБУ ВПО МГУП, 2013. 216 с.

21. Пат. 160530 Российская Федерация МПК А 01 G 9/24(2006.01) Устройство для управления микроклиматом в теплице / Пряхин В. Н., Максимов В. М., Лазаренко М. Л.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО РГАУ–МСХА имени К. А. Тимирязева. № 2015125095/13 ; заявл. 26.06.2015 ; опубл. 20.03.2016, Бюл. № 8.

22. Пат. 157254 Российская Федерация МПК А 01 G 7/00 (2006.01). Устройство для регулирования факторов внешней среды при выращивании растений / Пряхин В. Н., Максимов В. М., Овчукова С. А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО РГАУ–МСХА имени К. А. Тимирязева. № 2015125096/13 ; заявл. 26.06.2015 ; опубл. 27.11.2015, Бюл. № 33.

23. Пат. 163137 Российская Федерация МПК F 16 K 11/072(2006.01) Устройство для распределения рабочей среды по независимым объектам потребления / Пряхин В. Н., Максимов В. М., Рыков С. В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО РГАУ–МСХА имени К. А. Тимирязева. № 2015130632/06 ; заявл. 24.07.2015 ; опубл. 10.07.2016, Бюл. № 19.

24. **Пряхин В. Н., Карапетян М. А.** Исследование технологии выращивания с.-х. культур в защищенном грунте с оценкой ее экономической эффективности // Вестник МОАЭБП. 2016. Вып. № 20(27). С. 69–73.

25. **Пряхин В. Н., Калинин А. О., Чибухчян Г. С.** Надежность и безопасность автоматизированных систем управления технологическими процессами сельскохозяйственного производства // Международный технико-экономический журнал. 2017. № 4. С. 84–89.

26. **Пряхин В. Н., Мочунова Н. А., Калинин А. О.** Техногенные и экологические опасности и их последствия при работе автоматизированных систем АПК // Международный научный журнал. 2017. № 5. С. 82–87.

27. **Пряхин В. Н., Карапетян М. А., Мочунова Н. А.** Техногенная и экологическая безопасность на объектах АПК: Учебное пособие. М. : ООО «Мегаполис», 2018. 117 с.

28. **Пряхин В. Н., Мочунова Н. А.** Оценка эффективности защиты населения в местах скопления людей // Доклады ТСХА: Сб. научных статей. Вып. 290. Часть I. М. : Изд-во РГАУ–МСХА, 2018. С. 291–292.

29. **Пряхин В. Н.** Безопасность жизнедеятельности: Курс лекций. М. : ООО «Мегаполис», 2019. 115 с.

30. **Пряхин В. Н., Мочунова Н. А.** Особенности и характеристики различных видов пожаров // Доклады ТСХА. Вып. 291. Часть III. М. : Изд-во РГАУ–МСХА, 2019. С. 105–108.

31. **Пряхин В. Н., Карапетян М. А., Мочунова Н. А.** Экстремальное управление несколькими объектами агропромышленного комплекса // Международный технико-экономический журнал. 2019. № 6. С. 110–116.

32. **Пряхин В. Н., Карапетян М. А., Калинин А. О.** Пути обеспечения экологической безопасности // Вестник МОАЭБП. № 21(28). 2020. С. 53–59.

33. **Мочунова Н. А., Пряхин В. Н., Карапетян М. А.** Исследование систем управления объектов сельскохозяйственного производства // Международный технико-экономический журнал. 2020. № 3. С. 67–73.

*Учебное издание*

**Пряхин Вадим Николаевич**  
**Карпетян Мартик Аршалуйсович**

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ  
НА ОБЪЕКТАХ  
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ**

Учебное пособие

Издается в авторской редакции  
Оригинал-макет *Алексей Карев*  
Дизайн обложки *Полина Шапошникова*

Подписано в печать 02.09.2021. Формат 60х90/16  
Усл.-печ. л. 8,94. Тираж 100 экз. Заказ № 13

ООО «Мегаполис»  
[www.m-megapolis.ru](http://www.m-megapolis.ru)  
Тел.: 8 (495) 643-28-71  
E-mail: [zakaz@m-megapolis.ru](mailto:zakaz@m-megapolis.ru)  
127550, Москва, ул. Прянишникова, д. 23А

Отпечатано в ПАО «Т8 Издательские Технологии»  
Тел.: +7 (499) 322-38-31  
109316, Москва, Волгоградский проспект, д. 42, корп. 5